Hydrogeologische Untersuchungen

im Warndt

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Naturwissenschaften
der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Universität des Saarlandes
vorgelegt von

Hans Worf
aus
Reichenberg

Saarbrücken 1962

Hydrogeologische Untersuchungen

im Warndt

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Naturwissenschaften
der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Universität des Saarlandes
vorgelegt von

Hans Worf
aus
Reichenberg

Saarbrücken 1962

Promotionsdatum: 23.2.62

Tag der mündlichen Prüfung: 23. Februar 1962

Dekan: Prof. Dr. Johannes Dörr

1. Berichterstatter: Prof. Dr. Fridolin Firtion

2. Berichterstatter: Prof. Dr. Franz Rost

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

Vorwort

Das Thema dieser Arbeit wurde mir auf Anregung der Saarbergwerke Aktiengesellschaft von meinem verehrten Lehrer, Herrn Professor Dr. F. Firtion gestellt, dem ich für verschiedenartige Unterstützung zu großem Dank verpflichtet bin.
Den Herren Dr. E. Schneider und Dr. H. Schneider danke ich für verschiedene Hinweise. Sehr dankbar bin ich Herrn R. Quinten und Herrn W. Eisenla, die mich bei der Herstellung der verschiedenen Apparaturen und der Schliffe hilfreich unterstützten.
Für die Überlassung von Material danke ich verschiedenen Stellen der Saarbergwerke AG, so vor allen Herrn Dr. R. Schömer von der Bergschule Saarbrücken, der mir viele wertvolle Hinweise und Informationen gab, Herrn Dipl.Geol. H. Becker, Herrn Markscheider Cayé von der Markscheiderei Geislautern, Herrn Müller von der Abteilung Wasserwerke, ferner dem Wasserwirtschaftsamt und dem Oberbergamt Saarbrücken.

Inhalt

	Seite
Einleitung	3
I. Stratigraphischer Teil	4
1. Karbon	4
2. Rotliegendes	4
3. Buntsandstein	5
4. Diluvium und Alluvium	6
II. Tektonischer Teil	7
1. Allgemeine Tektonik	7
2. Spezielle Tektonik	8
a) Störungen	8
b) Tiefenlinienpläne und Profilschnitte	10
III. Petrographischer Teil	22
Korngrößenuntersuchungen an	
a) Lockerproben	22
b) Bohrkernen	31
IV. Hydrologischer Teil	31
1. Vorhandene Wassergewinnungsanlagen	31
a) Lauterbachtal	31
b) Bist-Tal und andere Bohrungen	36
c) Wasserversorgung der Gemeinden	39
2. Durchlässigkeitsmessungen an	
a) Lockerproben	40
b) Bohrkernen	57
3. Porositätsmessungen	65
4. Niederschläge und Versickerung	68
5. Quellen und Wasserläufe	74
6. Vorratsberechnung und Vorschlag einer neuen Gewinnungsmöglichkeit	75
V. Zusammenfassung	79
Literaturverzeichnis	80

Einleitung

Die Untersuchungen in der vorliegenden Arbeit erstrecken sich auf den deutschen Teil des Warndt und seine französischen Randgebiete. Die Begrenzung des Gebietes wird folgendermaßen vorgenommen:

Im Süden und Westen: Das Grenzgebiet der Bundesrepublik gegen Frankreich,

Im Norden: Die Muschelkalküberdeckung bei Berus und Altforweiler und eine Linie von Altforweiler an die Saar etwa bei Bous,

Im Osten: Der Lauf der Saar von Bous bis Völklingen und die französische Grenze.

Das Gebiet hat seine größte Ausdehnung in seiner SE - NW - Achse von ca. 18 km. In seiner SW-NE - Erstreckung ist die größte Ausdehnung ca. 9 km.

Das Gebiet liegt auf den Meßtischblättern 1 : 25 000 Nr. 6706 Lauterbach, Nr. 6806 St. Avold, Nr. 6707 Saarbrücken und Nr. 6807 Forbach. In den Kartendarstellungen und bei Angaben von Lagepunkten wurden die Koordinaten des Gauß-Krüger-Netzes verwandt.

In dem beschriebenen Raum sollen mit Berücksichtigung der geologischen Gegebenheiten die hydrologischen Verhältnisse untersucht werden.

I. Stratigraphischer Teil

1. Karbon

Im Bereiche des unteren Rosseltales stehen im Gebiet NW der Grube Velsen und weiter bachabwärts karbonische Schichten an, die der Oberen Saarbrücker Gruppe zugerechnet werden. Das im Unterlauf des Bist-Tales anstehende Karbon gehört den Göttelborner Schichten und damit der Unteren Ottweiler Gruppe an. In beiden Fällen handelt es sich um graue, sandige Schiefer, denen feinkörnige, graue Sandsteine zwischengelagert sind. Beide Vorkommen werden nach SW hin vom Felsberg-Rossel-Sprung abgeschnitten, der den Buntsandstein in der Gegend von Ludweiler um mindestens 50 m in die Teufe versenkt. Die Transgressionsfläche des auflagernden Buntsandsteins tritt auch ohne Aufschlüsse sehr deutlich in Erscheinung. Entlang der Grenze sind am Hang oft kleine Wasseraustritte festzustellen, und, wo diese fehlen, zeigt ein deutliches Einsetzen einer krautigen Bodenbewachsung die Veränderungen im Untergrund an.

2. Rotliegendes

Bei dem von THEOBALD auf seiner geologischen Karte, Blatt Boulay, Maßstab 1:50 000, ausgeschiedenen Rotliegenden, das an einigen Stellen zwischen Karbon und Buntsandstein zwischengelagert ist, handelt es sich um feuerrote, teils rotbraune bis violettrote, stark tonige Schichten. Obwohl die Struktur im Tagesaufschluß nicht zum Vorschein kommt, handelt es sich offenbar um eine Ausbildung, die der in der Bohrung Saarbrücken Süd recht ähnlich ist. In dieser Bohrung wird das Rotliegende teils von echten roten Konglomeraten gebildet, teils handelt

es sich jedoch um "Konglomerate", die völlig aus Tonknauern aufgebaut sind.

3. Buntsandstein

Das gesamte Arbeitsgebiet wird von Sedimenten des Buntsandsteins bedeckt, mit Ausnahme der schon beschriebenen Vorkommen von Karbon und Rotliegendem im Bist- und Rosseltale.
Die im deutschen Teil des Warndt vorkommenden Buntsandsteinserien gehören ausschließlich dem Mittleren Buntsandstein an, lediglich im NW wird der eine Steilkante bildende Muschelkalk von Oberem Buntsandstein unterlagert. Unterer Buntsandstein ist im Bereiche des Warndt nicht abgelagert worden.
Die Sandsteine sind größtenteils konglomeratisch ausgebildet, sie enthalten mehr oder weniger häufig Gerölle von wenigen mm Durchmesser bis zu mehreren cm. Neben diesem konglomeratischen Charakter enthalten jedoch alle Sandsteine einen großen Anteil an Mittelsanden und ebenfalls einen in den meisten Fällen vorhandenen beträchtlichen Anteil an feinkörnigem und zum Teil abschlämmbarem Material. Die Sandsteine sind durchweg nur wenig verfestigt. Es handelt sich in den meisten Fällen um nur wenig verbackene Sande, deren Bindemittel entweder tonig oder auch schwach quarzitisch ist. Die Sande und Sandsteine sind meist gelbbraun, rotbraun oder hellrot gefärbt. Einige Partien von wenigen Metern Mächtigkeit und Ausdehnung, die in zwei Kiesgruben in Differten und Großrosseln aufgeschlossen sind, enthalten völlig entfärbte, gleichmäßig mittelkörnige Sande, die getrennt abgebaut und zu Putzmörtel verarbeitet werden. Weite Verbreitung haben die Eisenschwarten, die in nahezu regelloser Verteilung auftreten. Von Millimeterstärke bis zu 5 - 8 cm Mächtigkeit sind alle Übergänge vertreten. Einmal bilden die feinen Schwarten kleine wabenartige

Netze, oder aber sie liegen schüsselförmig übereinander, mit der Öffnung nach oben oder auch nach unten, oder sie durchziehen das Gestein in bizarren Formen. Es handelt sich dabei um Sandsteinpartien, deren Porenraum durch ausgefälltes $Fe(OH)_3$ völlig ausgefüllt wurde. Derartige Schwarten sind nunmehr vollkommen dicht und für Wasser undurchlässig.
Wegen der schon genannten sehr geringen und oft fehlenden Verfestigung sind die Sandsteine tiefgreifend verwittert und bieten nur selten gute Aufschlüsse. Sandsteinpartien, die äußerlich gut gebankt erscheinen und einmassiges Aussehen haben, lassen oft beträchtliche Festigkeit vermuten. Ein leichter Schlag mit dem Hammer genügt jedoch schon in den meisten Fällen, um das ganze Handstück in einen Haufen lockeren Sandes zu verwandeln. In den stratigraphisch höheren Teilen finden sich häufig feinkörnige, gut geschichtete Wechsellagerungen von tonig-feinsandigen und mittelkörnigen Sanden dunkelroter Farbe, während darunter mächtigere Bänke aus helleren, gleichmäßig mittelkörnigen Sandsteinen anstehen, in denen einzelne Gerölle verstreut vorkommen.

4. Diluvium und Alluvium

Im zentralen Warndt liegt auf den Höhen zwischen Differten, Lauterbach, Karlsbrunn, Großrosseln und Ludweiler in weiter Verbreitung eine bis zu 1,5 m mächtig werdende Lehmschicht. An den Rändern des Saartales befinden sich verschiedene Terrassenablagerungen in mehr oder weniger großen Resten, auf deren Kartierung aber im Rahmen dieser Arbeit verzichtet werden konnte. Inwieweit es sich bei dem Lehm des inneren Warndt um verlehmten Löß oder etwa um extrem hohe Terrassen handelt, mag dahingestellt bleiben.

Außer diesen Vorkommen sind die Talauen der verschiedenen Bäche von "alluvialen" Ablagerungen bedeckt; in den meisten Fällen handelt es sich aber dabei um Buntsandsteinmaterial, das von den Hängen als Schutt heruntergeschwemmt wurde.

II. Tektonischer Teil

1. Allgemeine Tektonik

Der Buntsandstein des Warndt bildet einerseits einen Teil des Ostrandes des Pariser Beckens, dessen nach W einfallende Schichtenfolgen sich stratigraphisch höher mit dem im W der französischen Grenze beginnenden Muschelkalk fortsetzen, und andererseits steht der Warndt, vom Kartenbild her gesehen, über eine schmale Buntsandsteinbrücke bei Saarbrücken - St. Arnual mit der Saargemünder Triasmulde (Saar - Pfälzische Triasmulde) in Verbindung. Der Warndt liegt in der SW - Verlängerung des Saarbrücker Karbonsattels, dessen Absinken in die Teufe nach SW zu sowohl durch ein geringes Fallen der Faltenachse als auch durch verschiedene Störungen bewirkt wird. Im Untergrund des Warndt geht der einheitliche Bau des Saarbrücker Sattels verloren und teilt sich auf in (von NW nach SE): Buschborner Sattel, Hostenbacher Mulde, Merlebacher Sattel, Forbacher Mulde und Simonsattel. Von diesem gefalteten Untergrund ist jedoch an der Oberfläche nichts festzustellen, da das Karbonrelief einerseits durch Erosion und andererseits von den zum Teil mehr als 100 m mächtigen Sedimenten des Rotliegenden und dem daraufliegenden Buntsandstein eingeebnet wird. Der Warndt selbst ist ebenfalls noch ein Teil des Sattels, wie sich an der umlaufenden Begrenzung durch den lothringischen Muschelkalk von Bisten-Überherrn über

Buschborn, St. Avold bis Forbach zeigen läßt. Eine Sattelachse ist jedoch nur wenig ausgebildet. Das Fallen der Schichten läßt sich infolge der Schräg- und Diagonalschichtung nicht genau bestimmen, schwankt jedoch nur wenige Grade um Null. Lediglich an der Höhenlage der höchsten Erhebungen im Warndt läßt sich auf der Karte feststellen, daß die Grenze Buntsandstein gegen Muschelkalk im NE - Teil des Warndt höher gelegen haben muß, als es jetzt noch in der Muschelkalkumrandung der Fall ist, und daraus läßt sich auf eine geringe Hebung schließen.

2. Spezielle Tektonik

a) Störungen

Über tektonische Erscheinungen im Kerngebiet des Warndt läßt sich nur wenig berichten, da die schon beschriebene petrographische Eintönigkeit des Buntsandsteins keine genaue Gliederung erlaubt und damit auch keine Spezialtektonik erkennen läßt. Die einzige Störung, die sich eindeutig über weite Strecken festlegen läßt, ist der sogenannte "Felsberg - Rossel - Sprung". Er verläuft NW - SE nahezu parallel zum Saartal. Er gilt als die bedeutendste tektonische Linie im Warndt überhaupt und ist über eine Strecke von 35 km zu verfolgen. Er beginnt im NW bei Hemmersdorf, verläuft über Felsberg zum NE - Rande des Bisttales bis Differten und streicht dann weiter über Ludweiler - Großrosseln, Petite Rosselle, Forbach und Oeting und verschwindet bei Bousbach in den Schichten des Unteren Muschelkalks. Der Sprung versenkt die SW - Scholle gegenüber der NE - Scholle. Der Verwerfungsbetrag wechselt stark. Während er untertage im Bereich Velsen - Ludweiler etwa 150 m beträgt, ist übertage bei Oeting nur ein Betrag von 10 m, bei Ludwei-

ler mindestens 50 m und bei Felsberg von ca. 30 m nachzuweisen. Die unterschiedlichen Verwerfungsbeträge in verschiedenen stratigraphischen Horizonten beweist, daß es sich bei der Verwerfung nicht um eine kurzzeitige Bewegung handeln kann, sondern daß vielmehr eine langandauernde Bewegung stattgefunden hat.
Die Möglichkeit der genauen Einordnung und Festlegung dieser Störung ist ein seltener Glücksfall, da in der NE - Scholle als Tiefstes gerade noch das unterlagernde Karbon und zum Teil auch Rotliegendes angeschnitten sind. Dadurch sind eine Verfolgung des Verlaufs und eine Festlegung des Verwerfungsbetrages möglich. Bei anderen Sprüngen, die zwar in den Muschelkalkrandgebieten nachweisbar sind, ist eine Verfolgung quer durch das Buntsandsteingebiet sehr problematisch wenn nicht sogar unmöglich. Trotzdem werden von verschiedenen Autoren Störungen von den Muschelkalkumrandungen aus durch den Buntsandstein gezogen.
Es ist nicht möglich, solche Störungen direkt nachzuweisen und zu belegen. Man ist zu ihrer Bestimmung auf andere Hilfsmittel angewiesen. Solche Hilfsmittel können nur Tiefbohrungs- und Schachtprofile sein. Bei den Darstellungen der Störungen in den Tiefenlinienplänen (Anlagen Nr. 1 und 2) wurde daher so verfahren, daß zunächst anhand der zahlreichen Tiefbohrungen, die von der Steinkohlenbergwerksverwaltung in diesem Raum niedergebracht worden sind, ein vorläufiger Tiefenlinienplan auf die verschiedenen Horizonte konstruiert wurde. Bei der Einzeichnung der Tiefenlinien ergaben sich dann zwangsläufig Gebiete, in denen ein Durchziehen der Tiefenlinien ohne weiteres nicht möglich war. Dort wurde dann eine vorläufige Störung eingezeichnet. Nach diesem vorläufigen Plan wurde nun mit Hilfe morphologischer Studien der wahrscheinlichste Verlauf der Störungslinie bestimmt.
Bei dieser sehr ungenauen Methode wurde daher absicht-

lich darauf verzichtet, zu viele Störungen einzuzeichnen, da sich dadurch ein erheblich falsches Bild ergeben könnte. Es wurde vielmehr nur dort eine Störung eingetragen, wo sich eine zwingende Notwendigkeit ergab. Man muß sich aber darüber im klaren sein, daß tatsächlich noch weit mehr Störungen vorhanden sind.
In Einzelaufschlüssen, z. B. in der Kiesgrube Schmitt, Differten, sieht man, daß in einem Steinbruchstoß von etwa 50 m Länge wenigstens ein bis zwei "größere" und mehrere "kleinere" Störungen zu beobachten sind. Unter "größeren" Störungen sollen hier solche verstanden werden. deren Verwerfungshöhe nicht festzustellen ist, da entsprechende Bänke nicht auf beiden Seiten der Verwerfung identifiziert werden können, was bei "kleineren" eben möglich ist. Bemerkenswert ist, daß Sprünge, die auf den ersten Blick im Stoß klar zu erkennen sind und von denen man zunächst eine große Sprunghöhe erwarten würde, bei genauerem Studium nur Verwürfe von wenigen Dezimetern haben. Ebenso können morphologische Kanten in der Nähe des Bruchs, falls solche überhaupt vorhanden sind, von Störungen hervorgerufen sein, die eine geringe Sprunghöhe von vielleicht einem halben bis einem Meter haben, während sogenannte "größere" Störungen kaum eine morphologische Dokumentation finden.

b) Tiefenlinienpläne und Profilschnitte

In zwei Tiefenlinienplänen (Anlagen Nr. 1 und 2) wurden die geologischen Verhältnisse im tieferen Untergrund dargestellt. Die Güte solcher Darstellungen steht und fällt mit der Häufigkeit der Aufschlüsse. Im Bearbeitungsgebiet wurden 48 Tiefbohrungen, nahezu 60 Wasser- und Baugrundbohrungen und Brunnen sowie 19 Schächte bearbeitet. Alle Schächte, Tiefbohrungen und die brauchbaren Wasserbohrungen und Brunnen sind in der Tabelle 1 zusammengefaßt aufgeführt.

DER WARNDT

Abb.1:
Lage der vier
Profilschnitte im
Maßstab 1 : 100 000

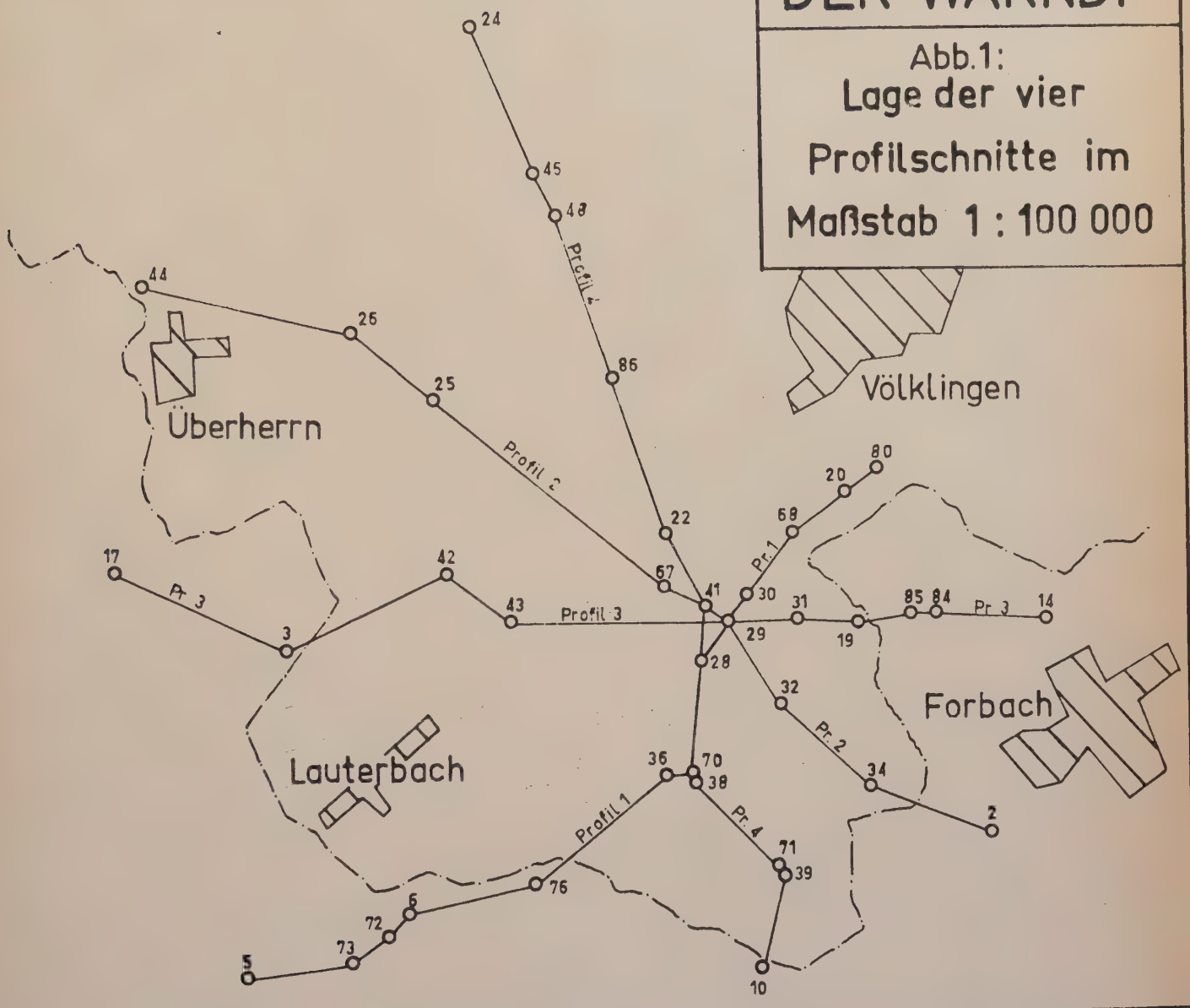


Tabelle 1: Verzeichnis der Bohrungen und Schächte im Untersuchungsgebiet

Lfd.Nr. = In Karten und Profilen verwendete Nr., unabhängig von der eigentlichen Bezeichnung der Bohrung oder des Schachtes. Nr. in Klammer = Nr. aus SIVIARD-Atlas.

Art = Art der Bohrung, z.B.: TB = Tiefbohrung
WB = Wasserbohrung
Br = Brunnen
Bb = Baugrundbohrung
Sch= Schacht

R = Rechtswert
H = Hochwert
NN = Höhe des Ansatzpunktes über Normal Null
ET = Endteufe
Bs = Unterkante Buntsandstein (in Klammer bezogen auf NN)
Ro = Unterkante Rotliegendes (" " " " ")
D = Mächtigkeit des Deckgebirges

Lfd. Nr.	Art	Bezeichnung	R	H	ET	NN	Bs	Ro	D
1	TB	Usine Stiring (133) 25	63 560	54 51 820	- 80,0	÷220,0	57,6(÷162,4)	178,8(÷ 41,2)	178,8
2	TB	Morsbach (136)	64 015	48 640	- 142,0	÷211,0	270,0(- 59,0)		270,0
3	TB	Kreuzwald (141)	52 570	51 590	- 63,2	÷240,0	117,0(÷123,0)	154,0(÷ 86,0)	154,0
4	TB	Karlingen (142)	52 860	48 380	- 14,1	÷230,0	111,0(÷119,0)	138,0(÷ 92,0)	138,0
5	TB	Karlingen S (143)	51 860	46 280	- 48,4	÷243,0	168,8(÷ 74,2)	-	168,8
6	TB	l'Hôpital (145)	54 590	47 240	- 161,6	÷252,0	125,2(÷126,8)	175,5(÷ 76,5)	175,5
7	TB	Ste. Fontaine (146)	57 480	46 450	- 104,2	÷215,0	200,0(÷ 15,0)	240,0(- 25,0)	240,0
8	TB	Hochwald (147)	58 900	46 050	- 85,1	÷215,0	162,8(÷ 52,2)	173,2(÷ 41,8)	173,2
9	TB	Cocheren (148)	62 710	45 975	- 235,0	÷220,0	250,0(- 30,0)		250,0
10	TB	Merlebach (150)	60 190	46 220	- 205,0	÷240,0	175,0(÷ 65,0)		175,0
11	TB	Forêt de la Houve (166)	50 000	54 820	- 95,0	÷205,0	91,0(÷114,0)		91,0
12	TB	Schwarzenpfuhl (175)	63 490	52 930	- 51,0	÷283,4	51,9(÷231,5)	70,2(213,2)	70,2
13	TB	Dachslöcher 1 (176)	64 830	52 300	- 203,3	÷286,5	118,4(÷168,1)	141,1(÷145,4)	141,1
14	TB	Dachslöcher 2 (177)	64 960	51 780	- 171,5	÷237,9	104,0(÷133,9)	128,0(÷109,0)	128,0

Fortsetzung Tabelle 1

Lfd. Nr.	Art	Bezeichnung	R	H	ET	NN	Bs	Ro	D
15	TB	SE Schacht Wendel (178)	64 590	51 380	- 205,7	÷223,3	96,3(÷127,0)	118,5(÷104,8)	118,5
16	TB	Marienau (179)	63 260	50 500	- 429,3	÷222,5	161,0(÷ 61,5)	196,3(÷ 26,2)	196,3
17	TB	Weiherfeld (182)	49 850	52 920	- 185,5	÷215,5	100,0(÷112,5)	-	100,0
18	TB	Geislautern 1 (273)	61 060	52 500	÷ 5,7	÷207,2	150,9(÷ 56,3)	-	150,9
19	TB	Geislautern 2 (274)	61 735	52 140	÷ 13,5	÷195,0	68,3(÷126,7)	-	68,3
20	TB	Geislautern 3 (290)	61 450	54 125	- 552,1	÷265,4	60,8(÷204,6)	-	60,8
21	TB	Geislautern 4 (291)	60 400	52 190	- 125,8	÷237,7	208,3(÷ 29,4)	209,0(÷ 28,7)	209,0
22	TB	Geislautern 5 (292)	58 715	53 732	- 703,5	÷199,2	60,7(÷138,5)	-	60,7
23	TB	Ensdorf 1 (293)	56 580	61 490	- 227,0	÷184,5	7,5(÷177,0)	-	7,5
24	TB	Ensdorf 2 (294)	55 470	61 570	- 744,1	÷185,2	27,5(÷157,7)	-	27,5
25	TB	Friedrichsweiler 1 (295)	54 880	55 660	-1255,0	÷223,5	190,3(÷ 33,2)	-	190,3
26	TB	Friedrichsweiler 2 (-)	53 607	56 676	?	÷201,3	110,0(÷ 91,3)	196,3(÷ 32,0)	196,3
27	TB	Ensdorf 3 (296)	53 700	62 210	- 323,2	÷195,4	42,0(÷153,4)	-	42,0
28	TB	Velsen 1 (302)	59 245	51 490	-1201,0	÷281,6	273,0(÷ 8,6)	388,3(-106,6)	388,3
29	TB	Velsen 2 (303)	59 540	52 025	-1096,0	÷295,0	278,1(÷ 16,9)	419,3(-124,3)	419,3
30	TB	Velsen 3 (304)	59 915	52 500	- 787,7	÷289,9	221,8(÷ 68,1)	386,8(- 96,9)	386,8
31	TB	Großrosseln 4 (305)	60 695	52 040	-1084,0	÷216,4	130,0(÷ 86,4)	-	130,0
32	TB	Großrosseln 32 (306)	60 520	60 720	- 300,3	÷284,2	295,0(- 10,8)	-	295,0
33	TB	Differten (307)	56 335	56 755	- 809,4	÷190,8	147,0(÷ 43,8)	-	147,0
34	TB	Emmersweiler (308)	61 730	49 750	- 799,3	÷200,9	177,0(÷ 24,0)	-	177,0
35	TB	Karlsbrunn 35 (309)	59 880	49 930	- 766,2	÷234,0	241,0(- 7,0)	-	241,0
36	TB	Karlsbrunn 1	58 651	49 700	- 293,0	÷283,0	224,4(÷ 58,6)	391,6(-108,6)	391,6
37	TB	Karlsbrunn 2	58 022	50 340	- 623,0	÷229,0	162,2(÷ 66,8)	313,6(- 84,6)	313,6
38	TB	Karlsbrunn 4	59 030	49 420	- 934,4	÷266,2	232,0(÷ 34,2)	352,0(- 85,8)	352,0
39	TB	St. Nicolaus	60 388	48 069	- 88,5	÷251,5	110,3(÷141,2)	139,6(÷122,1)	139,6
40	TB	Velsen 36	60 078	51 735	- 293,3	÷244,6	194,0(÷ 50,6)	246,9(- 2,3)	246,9
41	TB	Velsen West	59 244	52 340	- 178,1	÷271,9	256,6(÷ 15,4)	385,0(-113,0)	385,0
42	TB	Warndt 2	55 022	52 804	- 373,5	÷258,5	164,0(÷ 94,5)	173,0(÷ 85,0)	173,0

Fortsetzung Tabelle 1

Lfd. Nr.	Art	Bezeichnung	R	H	ET	NN	Bs	Ro	D
43	TB	Warndt Süd	56 045	52 275	- 653,2	÷252,0	175,0(÷ 77,0)	-	175,0
44	TB	Bisten	50 204	57 447	?	÷200,8	100,0(÷101,0)	183,0(÷ 18,0)	183,0
45	TB	Neuforweiler	53 316	60 622	?	÷221,3	55,0(÷166,3)	-	55,0
46	TB	Buchholz 1	56 640	58 715	?	÷224,0	65,0(÷159,0)	-	65,0
47	TB	Buchholz 2	56 185	58 815	?	÷211,0	47,0(÷164,0)	-	47,0
48	TB	Buchholz 3	57 195	58 125	?	÷225,0	58,0(÷167,0)	-	58,0
49	WB	Ludweiler	55 800	55 060	72,0m				
50	WB	Ludweiler	57 340	54 500	115,0m				
51	Br	ohne Bez.	55 765	62 270	51,3m		49,7(?)	-	49,7
52	WB	K bei Ensdorf	55 882	61 966	27,0m		-	-	0,0
53	Br	Brunnen 2 b. Ensdorf	55 760	62 475	50,0m		-	-	0,0
54	WB	ohne Bez.	53 750	62 620	77,2m		ca. 77,2	ca. 77,2	
55	WB	Petershof	60 360	60 400	÷210,0	÷260,0			
56	WB	Bastian-Bouserhöhe	59 930	59 900	47,0m		ca. 47,0	-	ca. 47,0
57	Bb	bei Überherrn	50 840	57 170	17,0m				
58	WB	Gemeinde Bous	60 350	60 940	÷ 199,5	÷220,5	17,0(÷203,5)	-	17,0
59	WB	Bisten	50 210	57 440					
60	WB	Buchenstauden	52 120	54 030	÷ 192,0	÷250,0			
61	WB	Felsberg	48 710	61 610	÷ 310,0	÷335,0			
62	WB	Karlsbrunn (neu)	58 735	49 210		÷245,0			
63	WB	Karlsbrunn 2 (neu)	58 915	49 000					
64	Br	Linslerhof	53 390	57 645					
65	WB	Linslerhof	53 267	57 465					
66	?	"beim Unionsschacht"	59 785	67 660		÷214,1	-	-	0,0
67	Sch	Westschacht	58 735	52 585		÷275,0	211,0(÷ 64,0)	363,0(- 88,0)	363,0
68	Sch	Velsen (Gustav 1)	60 685	53 430		÷209,4	-	15,4(÷194,0)	15,4
69	Sch	Velsen (Gustav 2)	60 650	53 510		÷208,8	-	20,8(÷188,0)	20,8
70	Sch	Warndt	59 233	59 557		÷260,0	227,2(÷ 32,8)	259,4(÷ 0,6)	259,4

Fortsetzung Tabelle 1

Lfd. Nr.	Art	Bezeichnung	R	H	ET	NN	Bs	Ro	D
71	Sch	Merlebach Nord	60 380	48 060		÷245,0	118,0(÷127,0)	132,0(÷113,0)	132,0
72	Sch	Spittel 1	54 290	46 960		÷246,3	132,6(÷114,0)	230,3(÷ 16,0)	230,3
73	Sch	Spittel 3	53 490	46 480		÷252,5	140,5(÷112,0)	250,5(÷ 2,0)	250,5
74	Sch	Spittel 6	52 480	46 820		÷253,7	157,7(÷ 96,0)	250,7(÷ 3,0)	250,7
75	Sch	Spittel 8	52 470	48 150		÷238,5	142,5(÷ 96,0)	200,5(÷ 38,0)	200,5
76	Sch	Peyerimhoff	56 530	47 700		÷230,0	148,0(÷ 82,0)	291,0(- 61,0)	291,0
77	Sch	Reumeaux	59 200	46 900		÷284,0	158,0(÷126,0)	182,0(÷102,0)	182,0
78	Sch	Ste. Fontaine	56 625	46 860		÷217,8	181,8(÷ 36,0)	221,8(- 4,0)	221,8
79	Sch	St. Charles 2	62 200	53 120		÷226,7	38,7(÷188,0)	62,7(÷164,0)	62,7
80	Sch	Vauban	61 880	54 425		÷295,5	-	75,5(÷220,07	75,5
81	Sch	Ludwig	61 710	54 000		÷247,0	-	30,0(÷217,0)	30,0
82	Sch	Gargan 1	63 740	52 840		÷268,2	63,2(÷205,0)	73,2(÷195,0)	73,2
83	Sch	St. Josef	62 400	53 400		÷259,4	54,4(÷205,0)	81,4(÷178,0)	81,4
84	Sch	Wendel 1	63 000	52 175		÷236,0	25,0(÷211,0)	36,0(÷200,0)	36,0
85	Sch	Vuillemin	62 640	52 180		÷231,8	-	71,8(÷160,0)	71,8
86	WB	Werbeln	58 020	55 500		÷204,0	58,0(÷146,0)	-	58,0
V1	WB	Völklingen 1	55 620	57 300	70,0m				
V2	WB	Völklingen 2	55 500	57 235	70,0m				
V3	WB	Völklingen 3	56 110	56 905	70,0m				
V4	WB	Völklingen 4	56 283	56 715	70,0m				
V5	WB	Völklingen 5	56 440	56 650	70,0m				
V6	WB	Völklingen 6	55 848	57 167					
V7	WB	Völklingen 7	55 760	57 020	119,6m	÷225,0	119,6(÷105,4)	-	119,6
L1	WB	Lauterbachtal 1	57 815	52 495	91,7	÷205,8			
L2	WB	Lauterbachtal 2	58 240	52 090	90,0	÷215,5			
L3	WB	Lauterbachtal 3	57 580	52 170	58,2	÷206,6			
L3a	WB	Lauterbachtal 3a	57 355	52 005	70,0	÷205,6			
L4	WB	Lauterbachtal 4	58 070	52 830	54,4	÷202,4			
L4a	WB	Lauterbachtal 4a	58 060	52 825	90,0	÷202,5			
L5	WB	Lauterbachtal 5	57 180	51 885	74,9	÷207,2			

Fortsetzung Tabelle 1

Lfd. Nr.	Art	Bezeichnung	R	H	ET	NN	Bs	Ro	D
L5a	WB	Lauterbachtal 5a	57 015	51 900	110,3	÷205,6			
L6	WB	Lauterbachtal 6	56 785	51 680	79,0	÷206,4			
L6a	WB	Lauterbachtal 6a	56 730	51 725	110,0	÷208,1			
L7	WB	Lauterbachtal 7	56 440	51 495	76,0	÷208,4			
L8	WB	Lauterbachtal 8	56 005	51 140	80,9	÷209,9			
L8a	WB	Lauterbachtal 8a	56 020	51 180	91,0	÷209,3			
L9	WB	Lauterbachtal 9	55 830	50 965	82,1	÷210,8			
L9a	WB	Lauterbachtal 9a	55 780	50 920	110,0	÷211,0			
L10	WB	Lauterbachtal 10	55 670	50 810	93,0	÷212,0			
L11	WB	Lauterbachtal 11	55 310	50 620	90,2	÷213,2			
L11a	WB	Lauterbachtal 11a	55 330	50 620	108,5	÷213,2			
L12	WB	Lauterbachtal 12	58 365	53 315	66,2	÷199,6			
L12a	WB	Lauterbachtal 12a	58 355	53 300	90,5	÷199,6			
L13	WB	Lauterbachtal 13	58 665	53 710	61,6	÷199,1			
B1	WB	Bisttal 1	55 315	57 175	150,0	÷191,9	ca. 150,0 m		
B3	WB	Bisttal 3	53 555	58 105	85,0	÷190,2	ca. 85,0 m		
B4	WB	Bisttal 4	54 630	57 350	135,0	÷191,5	ca. 135,0 m		
B5	WB	Bisttal 5	51 580	59 270	100,0				
B6	WB	Bisttal 6	52 520	58 975	151,0	÷195,5	ca. 151,0 m		
B7	WB	Bisttal 7	52 490	58 595	100,0				
B8	WB	Bisttal 8	51 722	58 605					
B9	WB	Bisttal 9	51 580	59 265					
B10	WB	Bisttal 10	52 945	58 430					
B11	WB	Bisttal 11	54 135	58 165					

Die Tiefbohrungen sind ohne Ausnahme von der deutschen und der französischen Bergwerksverwaltung zur Erkundung des produktiven Karbons angesetzt worden. Die Schächte liegen im südlichen und östlichen Teil des Bearbeitungsgebietes, und zwar zum größeren Teil jenseits der deutsch-französischen Grenze. Die Wasserbohrungen teilen sich auf in mehrere Gruppen. Die erste Gruppe umfaßt die Bohrungen des Wasserwerks Lauterbachtal der Saarbergwerke, die zweite Gruppe die des Wasserwerks Bist-Tal, die dritte Gruppe die der Stadt Völklingen im Bist-Tal und die vierte Gruppe weitere, meist verstreut liegende Bohrungen der Gemeinden oder der Industrie.

Einige der Tiefbohrungen sind bereits vor der Jahrhundertwende niedergebracht worden. Bei diesen Bohrungen sind die Angaben über die durchteuften Schichten oft sehr ungenau. Zum Teil schwanken die Angaben über die Endteufe nach verschiedenen Autoren (nach SIVIARD), was jedoch für diese Untersuchungen belanglos ist. In anderen Fällen aber sind ungenaue Angaben über das Deckgebirge gemacht worden. So ist in manchen Bohrprofilen nicht zu unterscheiden, ob Rotliegendes nicht angetroffen wurde, oder ob es nur nicht ausgeschieden worden ist. Diese Ungenauigkeiten bringen es mit sich, daß zum Beispiel in den geologischen Profilschnitten (Anlagen Nr. 4 und 5) manche Meterzahlen fehlen. Der wahrscheinlichste Verlauf der Schichtgrenze innerhalb der Bohrung wurde dort nur nach den Nachbarbohrungen interpoliert. Dies ist zum Beispiel der Fall im Profil 2 (Anlage Nr 4) bei den Bohrungen Nr. 2, 34 und 32.

In Bezug auf die Karbonoberfläche (Basis des Deckgebirges) lassen sich verschiedene Hochgebiete erkennen. Bewegt man sich auf der Karte (Anlage 1) vom Bist-Tal über die Bohrung 26 (Friedrichsweiler 2) nach Süden, so erkennt man einen ganz allmählichen Anstieg der Karbonoberfläche bis in den Bereich der Gemeinde Lauterbach.

Von dort weiter nach Süden fällt die Karbonoberfläche dann relativ steiler ab. Im Verlauf des allmählichen Ansteigens sind allerdings erhebliche Aufschlußlücken, auf welche unbedingt hingewiesen werden muß. Ein derart ruhiger Verlauf der Tiefenlinien ist zwar theoretisch denkbar, dürfte aber in der Praxis nicht vorliegen. Seismische Messungen, die von konzessionierten Erdölfirmen vorgenommen wurden, sind von vornherein dazu bestimmt gewesen, die tieferen Erdschichten unter dem Karbon zu erschließen. Die Folge ist, daß oberflächennahe Reflexionen, falls sie überhaupt auftraten, in der Auswertung unberücksichtigt geblieben sind. Daher erhielt man keinen Aufschluß über den Verlauf der Karbonoberfläche.
Trotz dieser einschränkenden Bemerkungen ist das Hochgebiet von Lauterbach doch als real anzusehen und dürfte etwa dem Buschborner Sattel entsprechen, der nach der Faltung und teilweisen Erosion wohl auch morphologisch als Erhebung unter dem Rotliegenden vorhanden ist. Im weiteren Verlauf dieses Hochgebietes nach NE stellt sich in der Gegend von Ludweiler eine streichende Störung ein, die aber trotz des großen Verwurfs von ca. 150 - 180 m ein Einfallen von der Störung weg erkennen läßt. In Richtung auf Völklingen hin ist das Hoch zwar nur schwach angedeutet, aber doch vorhanden.
Ein zweites SW - NE gerichtetes Hochgebiet ist SE Karlsbrunn zu erkennen, welches offensichtlich dem Merlebacher Sattel entspricht. Auch dieses Hoch ist durch zwei Störungen gewissermaßen in drei verschiedene Etagen verworfen worden, doch ist in jeder der drei Schollen ein Ansteigen der Karbonoberfläche von NW und SE her zu beobachten. Das Hoch verläuft vom Schacht 77 (Reumeaux) über Schacht 71 (Merlebach Nord), die Bohrung 34 (Emmersweiler), die Bohrung 16 (Marienau) zum Schacht 84 (Wendel 1) und weiter über die Bohrung 12 (Schwarzenpfuhl).
Beim Übergang von dieser Karte zum Tiefenlinienplan der

Basis des Buntsandsteins (Anlage 2) fällt zunächst auf, daß der Merlebacher Sattel an der gleichen Stelle ausgeprägt ist. Auch in diesem Bezugshorizont streicht ein Hochgebiet vom Schacht 77 über 71/34/16/84 bis zur Bohrung 12 und hat damit denselben Verlauf wie in der Karte der Karbonoberfläche. Eine plausible Erklärung für dieses Phänomen kann nur in der Annahme zu suchen sein, daß die Faltung des Karbons nicht in einer zeitlich eng begrenzten Phase abgeschlossen gewesen sein kann, sondern daß sie vielmehr stetig über einen längeren Zeitraum andauerte, was sich auch in den entsprechenden Profilschnitten (Anlagen Nr. 3 und 4) zeigen läßt. Besonders deutlich wird die Aufwölbung in der südwestlichsten Scholle des"Merlebacher Sattels", wo in der Bohrung 39 (St. Nicolaus) der strukturhöchste Punkt in beiden Bezugshorizonten erreicht wird. Die Rotliegendmächtigkeit beträgt hier 20 m. Von diesem höchsten Punkt erfolgt nach beiden Seiten ein relativ steiles Abfallen. Nach NW fällt die Grenze Rotliegend/ Buntsandstein auf eine Entfernung von ca. 3 km um 200 m ab und nach SE auf eine Entfernung von 4 km um etwa 150 m. Es ist nicht schlüssig einzusehen, warum bei einer Eindeckung eines Reliefs ein neues Relief entstehen sollte.

Auch in der NE - Scholle läßt sich am Schacht 84 der gleiche Vorgang deutlich machen. Bei einer Mächtigkeit von 11m auf dem Top der Struktur erfolgt nach beiden Seiten ein Abfallen der Grenze: nach SE um 100 m in 2 - 3 km und nach NW um 40 m in wenigen hundert Metern. (S.a. Profil 3, Anlage Nr. 5)

Eine weitere Bestätigung der dargelegten Verhältnisse erhält man bei einer Betrachtung der Rotliegendmächtigkeiten. Im Bereich des Schachtes 77 und der Bohrung 39 beträgt diese etwa 20 m. Weiter nach NE keilt das Rotliegende auf dem Sattelhöchsten im Bereich der Bohrungen

34, 32 und 35 wahrscheinlich ganz aus. Verfolgt man parallel zu dieser Linie das nach NW anschließende Muldentiefste, so erhält man folgende Mächtigkeiten:

Schacht 76 ca. 140 m,
Bohrung 37 ca. 150 m,
Bohrung 28 ca. 115 m,
Bohrung 41 ca. 130 m,
Bohrung 29 ca. 140 m und
Bohrung 30 ca. 165 m.

Alle diese Werte sind untereinander ungefähr vergleichbar. Es ist dabei unwichtig, daß unmittelbar NE der Bohrung 37 eine Störung quer durch die Mulde zieht, da deren Verwerfungsbetrag in diesem Bereich kaum nennenswert sein kann. (Erst weiter im SE verwirft die Störung beide Schollen um beträchtliche Werte.) Durch die Mächtigkeitsbetrachtung wird die Annahme einer längeren Dauer des Faltungsvorgangs bewiesen. Die Höhenunterschiede in der Rotliegendoberfläche und die sich verändernden Mächtigkeiten lassen keinen anderen Schluß zu. Selbstverständlich können gewisse Anteile der Mächtigkeitsdifferenzen auch durch Reliefunterschiede in der Karbonoberfläche erklärt werden, doch kann allein durch diese Annahme keinesfalls das Erscheinungsbild der Tiefenlinienpläne und Profile erklärt werden. Wären die Mächtigkeiten in allen Fällen gleich, so könnte man an bruchtektonische Ursachen für die Höhenunterschiede denken. Wäre die Oberkante des Rotliegenden relativ eben, so müßte man bereits eine Faltungsdauer bis über das Oberrotliegende hinaus annehmen. Bei den gegebenen Tatsachen von Mächtigkeitsdifferenzen und Höhenunterschieden bleibt nur der eine Schluß, daß die Faltung bis in die Buntsandsteinzeit hinein andauerte. Selbstverständlich erreicht das Schichtfallen an der Grenze Buntsandstein/Rotliegendes nicht so hohe Werte wie z.B. im Karbon selbst, aber die Auffaltung ist trotzdem so offensicht-

lich, daß man von einer tektonischen Bewegung zu sprechen gezwungen ist, die an dem Bezugshorizont (Grenze Rotliegendes/Buntsandstein) immerhin Höhenunterschiede von bis zu 150 m zur Folge gehabt hat. Im Zusammenhang mit den Mächtigkeitsbetrachtungen fällt weiterhin auf, daß an den Flanken streichender Störungen (SW - NE) große Unterschiede in der Rotliegendmächtigkeit herrschen. So hat zum Beispiel die Bohrung 22 kein Rotliegendes erbohrt, der Schacht 67 jedoch ca. 150 m. Die Bohrung 29 hat 140 m Rotliegendes, die Bohrung 40 nur 50 m erbohrt. Diese Tatsachen sprechen mit Sicherheit dafür, daß die streichenden Sprünge etwa im Oberrotliegenden, also synsedimentär, entstanden sind. Bei den Querstörungen ist eine Altersbestimmung wesentlich schwieriger. Sicher ist, daß der Felsberg-Rossel-Sprung die großen Rotliegendmächtigkeiten und größtenteils auch das Rotliegende überhaupt nach NE hin begrenzt. Die kleinen Vorkommen an der Oberfläche liegen beide auf der NE - Scholle und haben offensichtlich nur eine sehr geringe Mächtigkeit von wenigen Metern. Es hat also in der Rotliegendzeit eine starke Bewegung stattgefunden.
Der etwa parallel laufende "Karlsbrunner Sprung" dagegen ist sehr problematisch. Da der Sprung nicht direkt im Deckgebirge nachweisbar ist, wurde in der Anlage Nr. 1 versucht, den Tiefenlinienplan mit Hilfe der weiter durchgezogenen Karlsbrunner Störung zu interpretieren. Als ebenfalls mögliche Deutung ist die der Anlage 2 anzusehen, die einen ungestörten Verlauf annimmt. Die erste Ausdeutung gewinnt mehr an Wahrscheinlichkeit, wenn man die Rotliegendmächtigkeiten zu beiden Seiten betrachtet. Die Bohrung Nr. 34 hat in + 24 m die Grenze Karbon/Buntsandstein erbohrt. Dagegen enthält die Bohrung 39 von + 122 bis + 141 m noch Rotliegendes. Damit ist zwischen den beiden Bohrungen

mit Sicherheit eine Störung anzunehmen, die erst nach der Ablagerung des Rotliegenden beide Schollen in die gegenwärtige Situation gebracht hat. Damit wäre eine Querstörung jünger als die Längsstörungen. Über das absolute geologische Alter läßt sich jedoch nicht aussagen.

An Hand der beschrieben Tatsachen läßt sich zusammenfassend sagen: Im Warndt konnte der Beweis erbracht werden, daß die Auffaltung der Karbonschichten nicht mit dem Abschluß der Karbonzeit zur Ruhe kam, sondern vielmehr dauerte die Aufwölbung, allerdings mit abnehmender Intensität, bis zum Beginn der Buntsandsteinzeit an. Einmal mehr wurde hier bestätigt, daß die Faltungsphasen STILLE's nicht als starres Schema aufzufassen sind. Selbstverständlich erfolgte die Hauptfaltung an der Wende Unter-/Oberrotliegendes, aber damit war die Aufwärtsbewegung noch nicht abgeschlossen.

Die Störungen parallel zum Generalstreichen des Saarbrücker Sattels (SW - NE) sind sicher gleichzeitig mit der Faltung angelegt, während die Querstörungen jünger sein können.

Daß diese Ergebnisse auf zum Teil lückenhaftem Material aufgebaut sind, wurde schon betont. Bei der Unmöglichkeit, eine Spezialtektonik mit Hilfe einer Oberflächenkartierung aufzunehmen, sind jedoch die vorhandenen Tiefbohrungen die einzigen Hilfsmittel, auf die sich derartige tektonische Beweise oder Annahmen stützen können.

III. Petrographischer Teil

Korngrößenuntersuchungen

a) Untersuchungen an Lockerproben

Alle Proben, die Messung der Permeabilität und der Porosität entnommen worden sind, wurden einer Korngrößenanalyse unterworfen. Obwohl diese Untersuchungen zeitlich nach den Durchlässigkeitsmessungen durchgeführt wurden, soll doch bereits hier die Korngrößenverteilung beschrieben werden, da später verschiedentlich darauf zurückgegriffen werden muß.
Unmittelbar nach den Durchlässigkeitsuntersuchungen wurde der Sand in einer Porzellanschale im Trockenschrank bei 105° C getrocknet und anschließend gewogen. Nunmehr wurde die Probe etwa 20 Minuten mit 30 %igem H_2O_2 gekocht, um sowohl die etwa vorhandenen organischen Bestandteile zu zerstören, als auch auch die Tonsubstanz in feinste Teilchen aufzulösen. Verschiedentlich wird zu dem letzteren Zwecke die sogenannte "Glaubersalz - Methode" angewandt, bei der die Probe eine gewisse Zeit in einer Glaubersalzlösung gekocht wird. Dieses Verfahren ist jedoch zeitraubender und wird praktisch nur noch bei mehr verfestigten Tonen zum Beispiel des Paläozoikums angewandt. Die H_2O_2 - Methode ist in den mikropaläontologischen Laboratorien der deutschen und ausländischen Erdölfirmen zur Aufbereitung ihrer Proben weitgehend üblich. Nach Kurzem Aufkochen geht der Prozeß dann exotherm vor sich. Es ist darauf zu achten, daß ein genügend großes Becherglas verwendet wird, da die Reaktion sehr heftig ist und die Probe leicht überkocht. Dies darf im Falle der hier beabsichtigten Bearbeitung keineswegs vorkommen, da sonst unkontrollierte Mengen von dem bereits gewogenen Material verlorengehen. Wenn das Kochen nach einer gewissen Zeit von selbst aufhört, ist die Reaktion beendet. Nunmehr wurde die Probe in den Schlämmapparat nach KOPECKY eingeführt.

Durch ein Schwimmergefäß wird eine konstante Wassermenge durch ein System von vier Glaszylindern geleitet, welche verschiedenen Durchmesser haben. Infolgedessen wird in den Zylindern eine unterschiedliche Strömungsgeschwindigkeit herrschen. In die senkrecht stehenden Zylinder wird das Wasser von unten eingeleitet, in den engsten zuerst, in den weitesten zuletzt. Kommt die eingeleitete Probe mit dem Wasserstrom in den ersten Zylinder, so werden sich infolge der relativ größten Strömungsgeschwindigkeit dort nur die größten Teilchen halten, das feinere Material geht mit dem Wasserstrom ab und gelangt in den nächsten, etwas weiteren Zylinder. Dort wird die nächste Fraktion bis zu der Korngröße, die gerade noch in Schwebe gehalten wird, zurückbleiben, alles andere geht in den sritten Zylinder. Dort wird die nächste Fraktion zurückbleiben und aus dem letzten Zylinder werden infolge der sehr geringen Strömungsgeschwindigkeit - durch den großen Querschnitt bedingt - nur die tatsächlich abschlämmbaren Tonpartikel in den Ausguß geleitet. Eine Definition der Grenzkorngrößen für die einzelnen Zylinder ist sehr schwierig, und in diesem Zusammenhang soll nicht darauf eingegangen werden, da eine Aufteilung in nur vier Fraktionen für die durchzuführenden Untersuchungen sowieso nicht ausreichend ist.
Jede Probe bleibt etwa 2 Stunden im Apparat, jedenfalls so lange, bis das Wasser im vierten Zylinder klar abfließt, also bis alle Tonsubstanz aus der Probe ausgeschlämmt wurde. Um die im normalen Leitungswasser auftretende elektrostatische Zusammenballung der Tonpartikel zu verhindern, genügt es, das durchlaufende Wasser leicht alkalisch zu machen. Zu diesem Zwecke wurden von Zeit zu Zeit einige Kubikzentimeter $NH_4(OH)$ in das Schwimmergefäß gegeben.
Die in den vier Zylindern zurückbleibenden vier Fraktionen wurden nunmehr wieder zusammengeschüttet, getrocknet und gewogen. Danach wurde das zurückgebliebene Material einer Siebanalyse unterworfen. Aus den im Labora-

torium vorhandenen Sieben wurde ein Siebsatz zusammengestellt, dessen Siebe in etwa logarithmischem Maßstab aufeinanderfolgen. Dies konnte weitgehend erreicht werden. Die benutzten Siebe haben Maschenweiten von:
5,00 / 3,00 / 2,00 / 1,20 / 0,75 / 0,50 / 0,30 / 0,20 / 0,120 / 0,075 / 0,050 / 0,033 / ‹0,033 mm.

Tabelle 2: Dekadische Abstände des verwendeten Siebsatzes.

Siebgröße	Dekad. Abstand
0,033	
0,050	ca. 8,5 mm
0,075	" 9,0 "
0,120	" 10,5 "
0,200	" 11,0 "
0,30	" 8,5 "
0,50	" 11,0 "
0,75	" 9,0 "
1,20	" 10,5 "
2,00	" 11,0 "
3,00	" 8,5 "
5,00	" 11,0 "

In der Tabelle 4 sind die Werte der verschiedenen Korngrößen aller bearbeiteten Lockerproben zusammengestellt. Die Bezeichnung der verschiedenen Korngrößenklassen kann zweckmäßigerweise nach DIN 4220 vorgenommen werden. Nach dieser Norm lauten die Bezeichnungen:

0,02 - 0,05 mm	Sand, mehlig
0,05 - 0,20 "	" , fein
0,20 - 0,50 "	" , mittel
0,50 - 2,00 "	" , grob
2,00 - 7,00 "	Kies, fein
7,00 -20,00 "	" , grob

Die Fraktionen ‹ 0,033 mm, die in den Untersuchungen nicht mehr getrennt wurden, können nach dieser Norm als Schluff- oder Kolloidgruppe bezeichnet werden. Im weiteren Text soll die Bezeichnung "Ton" für diese Gruppen allgemein angewandt werden, obwohl darin auch noch Anteile an Schluffsanden enthalten sein müssen. Diese sind

jedoch so gering, wie sich an den Siebanalysen zeigen läßt, daß eine gewichtsmäßige Bestimmung innerhalb der Fehlergrenzen liegen muß und damit indiskutabel wird. Jede Probe hat zunächst einen "Ton"-Gehalt von durchschnittlich 4 - 6 %. Dieser Tongehalt wird auf echte Tonbeimengungen zurückzuführen sein, da in den Sandfraktionen die Prozentsätze der feinsten Fraktionen schon wesentlich kleiner sind. Hätte man noch weitere Fraktionen auswiegen können, so wären deren Prozentzahlen sicherlich mindestens ebenso klein, und erst der tatsächlich abschlämmbare Ton wäre wieder in nennenswerter Menge vorhanden. Auf die wechselnden Anteile der anderen Fraktionen und deren Bedeutung wird später noch eingegangen.
Im Rahmen eines unveröffentlichten Gutachtens über den Kiesbaggerbetrieb Schmitt in Differten wurde eine Reihe chemischer Analysen durchgeführt. Hierbei wurde lediglich Fe und Ni in bestimmbaren Mengen nachgewiesen. Der Fe - Gehalt schwankt zwischen 0,74 und 2,85 Gewichtsprozent. In einigen Proben wurde ein Ni - Gehalt von maximal 0,35 % festgestellt.

Tabelle 3: Verzeichnis der Entnahmepunkte von Lockerproben.
(Vor allen Rechtswerten ist noch die Hochzahl 25 und vor allen Hochwerten die Hochzahl 54 zu ergänzen.)

Punkt A: R 59 060; H 50 060; Proben Nr. 1 - 6
Straßenkreuzung Dorf im Warndt

Punkt B: R 58 340; H 51 800; Proben Nr. 7 - 9
Straße Warndtschacht/Ludweiler

Punkt C: R 58 820; H 52 600; Proben Nr. 10 - 13
Böschung am Warndtschacht

Punkt D: R 58 160; H 52 940; Proben Nr. 14 - 16
Bruch am Wasserwerk Lauterbachtal

Punkt E: R 55 260; H 52 070; Probe Nr. 17
Straße Warndtweiher/Lauterbachtal

Punkt F: R 60 040; H 53 740; Proben Nr. 18 - 19
Ortseingang Großrosseln
Punkt G: R 62 270; H 49 850; Proben Nr. 20 - 25
Straße Emmersweiler/St. Nicolaus
Punkt H: R 60 070; H 48 430; Proben Nr. 26 - 28
St. Nicolaus, Abzweigung nach Naßweiler
Punkt I: R 60 070; H 48 760; Proben Nr. 29 - 33
Straße St. Nicolaus/Karlsbrunn
Punkt K: R 62 260; H 50 500; Probe Nr. 34
N - Eingang Emmersweiler
Punkt L: R 62 400; H 49 620; Proben Nr. 35 - 37
SW - Ausgang Emmersweiler
Punkt M: R 61 610; H 47 020; Proben Nr. 38 - 46
Naßweiler, gegenüber Kirche
Punkt N: R 59 440; H 49 250; Proben Nr. 47 - 49
Karlsbrunn
Punkt O: R 58 410; H 55 230; Proben Nr. 50 - 64
Nähe Straße Ludweiler/Werbeln
Punkt P: R 58 700; H 54 650; Proben Nr. 65 - 78
Ortsausgang Ludweiler, Richtung Werbeln
Punkt Q: R 57 680; H 57 480; Proben Nr. 79 - 87
Kiesgrube oberhalb Straße Werbeln/Schaffhausen
Punkt R: R 57 040; H 56 710; Proben Nr. 88 - 90
Differten, Wadgassener Straße
Punkt S: R 57 320; H 56 710; Proben Nr. 91 - 115
Kiesgrube Schmitt, Differten.

In der folgenden Tabelle 4 werden die Proben aufschlußweise geordnet, und zwar in der Weise, daß die Proben eines jeden Auschlusses vom Hangenden zum Liegenden aufgezählt werden. In der Spalte III wird der vertikale Abstand der Probe zur nächsttieferen aufgeführt (in cm).

Tabelle 4: Korngrößenverteilung der nach Aufschlüssen geordnete Proben

I = Aufschlußpunkt; II = Proben-Nr.; III = Vertikaler Abstand zur nächsten Probe nach unten (in cm)
"Ton" bis >5,0 = Gewichtsprozente der Fraktionen

I	II	III	Ton	<0,033	>0,033	>0,050	>0,075	>0,12	>0,20	>0,30	>0,50	>0,75	>1,20	>2,0	>3,0	>5,0
A	6	-	8,7	0,5	2,0	6,6	24,9	25,9	13,2	14,2	2,5					
	5	-	2,7	0,4	0,4	1,6	8,5	12,5	31,5	40,8	0,8					
	4	-	9,4	1,0	2,6	4,7	17,6	33,7	16,6	13,5	0,5					
	3	-	3,2	0,4	0,4	3,6	12,4	23,6	23,2	32,4	0,4					
	2	-	16,3	4,8	4,8	11,7	22,9	25,3	9,3	3,6	0,4					
	1	-	13,2	0,5	2,9	8,3	28,5	30,9	9,8	3,6	0,5					
B	9	30	1,2	0,2	0,2	0,4	3,2	11,6	26,0	46,0	10,4	0,4				
	8	30	8,2	1,6	2,8	6,4	16,4	25,6	20,8	15,2	0,4					
	7	30	5,4	0,4	0,8	4,8	12,8	21,3	20,1	31,3	2,0					
C	12	200	6,2	0,2	0,3	0,7	5,0	21,0	35,0	27,6	2,0					
	13	-	10,3	0,3	0,7	2,6	26,0	46,9	11,1	0,3	0,3					
	11	-	9,7	0,6	0,6	4,5	31,8	44,0	8,3	0,6						
	10	-	16,7	0,3	0,3	1,9	16,8	41,8	18,4	2,2	0,2					
D	14	-	4,2	0,2	0,2	0,4	3,7	11,1	16,8	39,4	17,3	1,6	0,4			
	15	-	1,7	0,2	0,4	0,8	2,5	7,4	20,5	52,9	13,1	0,4				
	16	-	2,1	0,3	0,3	0,3	1,7	9,1	29,5	45,2	10,7	0,3				
E	17	-	4,6	0,3	0,3	1,0	8,6	29,6	31,3	22,1	0,3					
F	18	100	3,5	0,3	0,3	0,5	0,5	5,4	26,1	47,8	9,8	1,0				
	19	-	2,9	0,3	0,3	0,6	1,3	6,7	22,1	52,3	12,1	0,7				
G	25	60	1,8	0,3	0,3	0,6	2,9	9,2	16,5	41,8	19,0	4,1	0,6			
	24	60	3,2	0,3	0,7	1,0	4,4	12,4	18,5	41,4	14,5	2,0				
	23	150	7,1	0,4	0,7	1,1	4,3	12,1	29,9	37,7	4,6	0,4				
	22	-	3,3	0,3	0,3	0,5	2,8	15,9	29,4	41,4	5,6	0,3				
	21	100	3,3	0,3	0,3	1,0	3,7	17,3	32,5	37,2	3,7					
	20	-	2,8	0,2	0,5	1,0	3,3	10,9	21,3	36,5	19,0	3,8				
H	28	50	1,9	0,4	0,4	0,7	3,3	9,9	28,9	48,3	5,9					
	27	200	3,1	0,6	0,6	2,4	5,3	13,8	23,5	44,6	5,6					
	26	-	2,1	0,6	0,6	1,5	8,4	23,1	36,8	23,4	2,1					

Fortsetzung Tabelle 4

I	II	III	Ton	<0,033	>0,033	>0,050	>0,075	>0,12	>0,20	>0,30	>0.50	>0,75	>1,20	>2,0	>3,0	>5,0
J	33	40	3,7	-	-	0,4	4,3	12,1	24,2	41,4	12,5	0,9				
	32	100	3,1	-	0,4	0,4	2,9	9,0	19,5	48,3	11,5	4,3				
	31	400	3,8	0,3	0,3	0,5	4,9	19,6	33,7	29,3	6,0					
	30	50	3,0	0,3	0,7	2,3	13,3	38,1	32,1	9,1	0,3					
	29	-	2,8	-	0,4	0,8	12,2	34,6	39,4	8,7	0,4					
K	34	-	3,0	0,5	0,5	0,9	2,7	10,5	38,2	36,4	5,5	0,9				
L	37	200	3,3	0,2	0,4	0,8	3,2	14,7	30,5	38,5	7,5	0,8				
	36	60	3,0	0,3	0,3	0,6	3,0	9,7	25,6	51,4	5,8	0,3				
	35	-	2,8	0,4	0,4	0,8	2,9	8,3	26,5	49,7	6,2	0,4				
M	45	30	2,0	0,4	0,4	0,8	1,7	6,4	25,0	53,5	8,9	0,4				
	44	70	5,0	0,3	0,6	0,6	3,4	14,5	41,5	31,3	1,7	0,3				
	46	30	3,1	0,3	0,3	0,5	2,1	7,2	28,5	53,2	4,9					
	43	100	8,5	0,4	0,7	3,0	14,5	37,1	27,1	8,5	0,4					
	42	100	3,1	0,8	1,1	4,1	15,7	33,6	27,2	11,9	0,4					
	41	50	7,3	1,2	2,6	5,5	20,1	33,3	22,1	7,2	0,6					
	40	75	6,3	0,3	0,7	3,7	27,8	49,5	10,0	0,7						
	39	50	8,9	0,8	1,3	4,6	22,5	34,1	20,0	7,5	0,4					
	38	-	7,1	0,7	1,3	5,7	25,7	29,6	19,3	8,0	0,3	0,3				
N	49	1050	4,8	0,6	1,2	2,9	13,6	31,0	20,3	19,7	4,9	0,3	0,3			
	48	500	3,7	0,3	0,6	2,9	11,5	30,2	30,2	19,8	0,9					
	47	-	9,6	0,6	0,6	2,4	12,0	27,0	22,8	18,6	4,5	0,9	0,6			
O	63	30	3,2	0,3	0,3	0,6	1,2	5,2	21,1	51,3	14,4	1,8	0,3			
	62	60	5,2	0,3	0,3	0,5	2,1	5,7	18,4	43,9	17,7	3,4	0,5	0,8		
	61	40	5,8	0,3	0,3	1,0	3,1	6,8	13,0	33,1	28,3	6,2	0,3			
	60	40	2,7	0,3	0,3	0,6	2,2	8,0	25,8	46,0	11,7	1,1	0,3			
	59	30	4,8	0,3	0,6	0,6	2,4	14,5	27,4	42,5	5,3	0,2				
	64	20	4,0	0,2	0,5	0,5	2,0	5,1	30,4	49,2	6,9	0,7				
	58	30	3,1	0,4	0,4	0,8	2,3	5,0	19,4	42,3	20,2	3,9	1,2			
	57	250	6,0	0,3	0,6	1,2	5,0	19,9	40,3	25,2	0,9					
	56	40	6,4	0,4	0,8	1,2	4,8	16,1	31,7	32,1	3,6	0,8				
	55	40	5,9	0,5	0,9	0,9	4,7	18,7	34,2	25,3	7,5	0,5				
	54	40	5,4	0,3	0,3	1,0	5,0	20,6	39,8	23,9	0,7					
	53	30	4,0	0,2	0,2	0,5	1,8	9,8	25,5	41,5	13,0	2,2	0,5			
	52	100	6,5	0,4	0,8	1,2	3,2	14,6	31,6	28,8	10,3	2,8				
	51	100	3,9	0,3	0,3	1,0	3,2	8,5	13,9	50,0	15,2	2,2	0,3	1,0		
	50	-	3,4	0,9	0,9	1,8	5,4	20,3	40,6	14,9	5,4	1,4	3,6			

Fortsetzung Tabelle 4

I	II	III	Ton	<0,033	>0,033	>0,050	>0,075	>0,12	>0,20	>0,30	>0,50	>0,75	>1,20	>2,0	>3,0	>5,0
P	78	30	10,7	0,6	0,9	3,7	12,6	23,1	22,5	18,8	3,7	2,5	0,3			
	77	30	8,0	0,3	0,6	1,1	4,7	12,3	24,6	38,9	6,9	2,3				
	76	20	2,1	0,1	0,1	0,2	1,2	4,3	16,9	49,5	21,4	3,1				
	75	25	4,2	0,2	0,3	0,6	1,9	7,8	26,3	49,5	9,1					
	74	25	4,8	0,2	0,3	0,7	3,4	5,0	17,8	44,6	17,4	2,7	0,7			
	73	-	5,1	0,2	0,2	0,9	5,4	4,4	15,2	46,3	18,2	2,8	0,5			
	72	20	4,5	0,2	0,3	0,9	4,4	3,5	13,2	53,4	17,6	0,9	0,3			
	71	30	6,5	0,2	0,4	0,8	4,7	3,9	12,1	41,3	24,2	4,3	0,8			
	70	20	5,2	0,3	0,3	1,0	2,0	4,7	15,1	47,4	20,2	2,0	1,4			
	69	20	4,9	0,3	0,7	1,0	3,1	7,1	16,2	48,7	15,6	2,0				
	68	50	9,9	0,3	1,0	1,7	4,7	10,4	15,5	35,6	16,8	3,0	0,7			
	67	300	6,5	0,3	0,6	0,9	2,9	18,5	33,8	22,6	11,5	2,1	0,2			
	66	15	5,9	0,3	0,5	0,5	3,4	19,0	14,2	44,8	10,0	0,5				
	65	-	5,8	0,3	0,6	0,9	3,7	25,6	23,4	34,8	4,0	0,3				
Q	87	15	4,5	0,4	0,7	1,1	4,4	13,7	35,2	32,2	3,3	1,1	3,0			
	86	15	4,3	0,4	0,7	1,1	4,5	14,5	37,2	29,8	3,4	1,1	2,6			
	85	15	6,0	0,5	1,1	2,4	8,8	10,4	18,2	27,1	7,2	3,5	2,7	2,7	3,5	5,4
	84	15	3,4	0,1	0,3	0,6	1,5	5,2	19,4	46,3	18,2	3,5	0,6			
	83	15	2,9	0,2	0,2	0,6	0,9	6,8	46,2	36,1	5,3	0,9				
	82	150	2,8	0,1	0,2	0,5	0,7	5,9	43,6	39,6	3,8	2,4				
	81	200	3,4	0,3	0,3	0,6	2,0	11,6	41,9	36,7	2,6	0,6				
	80	290	3,9	0,3	0,7	0,7	2,4	9,2	26,3	39,7	9,6	3,4	3,4			
	79	-	3,4	0,3	0,3	0,6	1,9	8,3	44,3	35,0	2,9	0,6	0,3	1,9		
R	90	20	3,0	0,7	0,7	1,4	6,4	19,2	41,1	20,2	2,7	1,4	1,0	1,0	1,0	
	89	50	2,2	0,2	0,4	0,8	2,0	6,2	17,9	31,2	11,7	7,9	6,2	5,1	6,6	
	88	-	2,1	0,3	0,6	1,2	3,4	7,6	21,3	27,4	6,1	5,5	5,2	6,4	6,7	6,1
S	101	20	4,1	0,6	0,8	1,7	6,1	12,9	35,5	30,0	2,2	0,6	0,6	0,8	3,9	
	100	50	3,7	0,3	0,6	1,2	4,9	11,6	29,6	33,1	6,4	1,7	1,2	0,6	2,3	1,2
	99	250	2,3	0,3	0,7	0,7	3,0	20,2	46,5	20,2	1,7	1,0	2,4			
	98	15	2,3	0,3	0,3	0,5	1,9	5,4	16,3	43,4	14,7	10,3	4,3			
	97	50	2,5	1,0	1,0	1,5	4,0	11,1	30,3	46,0	1,0					
	96	25	2,1	0,2	0,5	0,7	1,4	4,0	23,1	56,0	8,9	1,6	1,4			
	95	50	2,5	0,3	0,3	0,6	1,3	4,5	24,6	54,3	7,7	1,6	1,3			
	94	25	5,1	0,3	0,7	1,3	3,6	16,3	36,5	28,4	3,9	1,0	1,3			
	93	25	4,6	0,3	0,3	0,9	2,6	7,9	24,7	39,6	5,6	2,4	2,4	2,6	2,1	2,9

Fortsetzung Tabelle 4

I	II	III	Ton	<0,033	>0,033	>0,050	>0,075	>0,12	>0,20	>0,30	>0,50	>0,75	>1,20	>2,0	>3,0	>5,0
S	92	40	4,3	0,3	0,3	0,6	2,5	8,2	19,8	32,0	6,9	4,1	3,5	4,7	5,3	5,3
	91	-	6,1	0,7	1,0	2,3	4,6	10,9	20,5	35,7	6,3	2,6	2,0	3,6	3,6	
	115	20	7,9	1,5	2,2	7,3	24,2	24,6	16,8	11,4	1,7	0,7	0,2			
	114	15	5,7	1,9	3,0	7,5	25,6	26,9	15,6	10,8	1,7	0,3	0,3			
	113	400	5,4	0,7	1,0	2,4	10,0	22,6	24,8	27,9	4,1	0,2	0,2	0,2		
	112	25	10,3	2,8	3,0	5,2	8,8	12,9	20,4	27,2	5,0	1,9	0,6	0,6	0,3	
	111	15	8,6	2,0	2,6	4,9	8,8	15,6	31,1	23,3	1,0	0,7	0,3	0,3		
	110	15	7,3	2,3	2,6	4,4	8,5	13,7	31,1	25,9	2,1	0,3	0,3	0,5	0,5	
	109	15	6,4	2,0	2,2	4,2	7,7	14,4	30,0	27,6	2,2	1,0	0,7	0,5	0,5	
	108	10	14,5	2,1	2,7	8,0	22,1	25,1	12,4	8,5	2,7	0,6	0,6			
	107	5	11,5	2,1	2,5	7,9	20,8	23,3	16,3	10,7	2,3	0,6				
	106	30	6,0	2,0	2,2	4,9	9,0	14,2	20,2	29,6	9,8	2,2				
	105	15	13,3	2,4	2,7	5,4	10,2	16,3	23,1	21,1	3,1	0,3				
	104	10	7,5	2,9	2,5	4,9	9,8	15,6	25,0	22,9	5,3	1,2	0,4	0,4	0,4	
	103	10	10,2	3,5	2,8	5,6	9,1	13,8	23,8	20,3	3,9	2,2	1,5	1,7	1,3	
	102	-	13,5	2,5	2,7	5,2	9,3	13,4	21,2	21,9	3,6	1,8	1,4	1,4	1,1	0,5

Bohrung Saarbrücken Süd. Die Reihenfolge entspricht dem Bohrprofil. Spalte III = Teufe in m.

116	19,2	2,8	0,4	0,4	0,6	1,7	4,2	18,1	54,5	13,6	3,4	0,2	
117	23,5	3,5	0,5	0,5	0,9	1,4	6,0	18,6	54,5	17,2	4,2	0,9	
118	28,0	6,9	0,6	1,2	4,7	24,8	37,7	15,3	5,9	0,6	0,6		
119	42,5	4,0	nicht gesiebt										
120	52,9	4,4	0,4	0,8	1,2	4,9	19,1	30,9	27,7	7,3	2,4	0,4	
121	52,9	4,5	0,4	0,8	0,8	3,5	18,5	41,6	25,4	2,7	1,2		
122	68,4	4,3	0,3	0,7	1,0	3,2	25,6	37,3	22,1	2,6	1,6	0,3	
123	76,8	8,8	0,8	1,2	3,2	10,7	30,9	23,0	14,7	3,2	2,8	0,4	
124	107,0	6,7	0,8	2,1	7,8	23,5	33,4	17,3	5,4	0,2			
125	116,4	3,1	0,5	0,5	1,0	2,0	8,1	26,9	41,6	10,7	4,6		
126	128,2	9,7	0,3	0,3	1,0	8,5	23,5	31,6	23,5	1,0			
127	132,6	15,8	0,3	0,6	0,9	2,6	8,9	28,0	39,4	3,1	0,3		
128	147,1	2,7	0,4	0,8	1,1	5,3	12,5	20,4	40,7	12,5	2,3	0,4	
129	157,0	3,5	0,3	0,5	0,8	2,1	5,8	23,0	49,7	10,6	0,6	0,8	
130	173,0	2,7	0,3	0,3	0,7	1,7	4,1	8,3	40,9	26,5	12,4	1,4	
131	174,5	1,6	-	0,3	0,6	2,7	7,4	23,6	42,4	16,2	4,7	0,3	
132	193,7	1,4	0,5	0,9	0,9	3,2	10,7	25,9	37,1	13,9	4,6	0,9	

b) Korngrößenuntersuchungen an Bohrkernen

Aus dem Teilstück des Bohrkerns, aus dem der Meßkern zur Porositäts- und Permeabilitätsmessung gebohrt worden war, wurde eine Probe zur Korngrößenanalyse mit einem Gummipistill zerkleinert und ebenso wie die Lockerproben untersucht. Die Untersuchungsergebnisse sind am Ende der Tabelle 4 zusammengestellt.

IV. Hydrologischer Teil

1. Vorhandene Wassergewinnungsanlagen

Die Saarbergwerke AG hat im Lauterbachtal und im Bist-Tal zwei Wassergewinnungsanlagen, die jeweils mit etwa 10 Bohrungen beträchtliche Mengen Wasser fördern.

a) Das Lauterbachtal

Auf einer Länge von etwa 5 km sind im Lauterbachtal 13 Bohrungen niedergebracht worden, die eine durchschnittliche Teufe von ca. 80 m erreichen. (Genaue Teufenzahlen siehe Tabelle 1) Da sich die geförderte Wassermenge in einigen Bohrungen als nicht ausreichend erwies und zum Teil auch der Chemismus eine Verwendung als Trink- nicht zuließ, wurde zu folgenden eine Ergänzungsbohrung niedergebracht: 3, 4, 5, 6, 8, 9, 11, 12. Die Ergänzungsbohrungen sind mit der Ziffer der Hauptbohrung und dem Buchstaben a bezeichnet. Heute sind noch in Produktion die Bohrungen 3a, 4a, 5a, 6a, 8a, 9a, 11a, 12a und 13. Sie fördern einen Monatsdurchschnitt von 633 000 m^3 oder rund 21 000 m^3 im Tag.

In der Tabelle 5 sind die Fördermengen der genannten Bohrungen für jeweils einen der letzten Tage der Monate November 1957 bis Juli 1959 aufgeführt. Aus diesen Zahlen ergeben sich Mittelwerte für die einzelnen Bohrungen.

Tabelle 5

Datum	3a	4a	5a	6a	8a	9a	11a	12a	13
30.11.57	2500	3900	2300	-	2500	2800	-	5100	-
30.12.57	2800	4100	700	2500	2500	3800	1000	5100	-
31.1.58	-	4100	2400	1100	2500	4000	1200	5000	1000
27.2.	3400	4400	-	-	2300	300	1400	5000	1200
28.3.	2100	4200	-	2200	1600	2300	1900	5000	1100
30.4.	3800	3600	-	2000	1900	3000	1900	5000	1200
31.5.	3100	3400	1800	1100	2600	3200	1800	5000	1100
30.6.	3700	3400	1500	1900	1600	2600	1600	5100	900
30.7.	3600	3800	1500	2300	2600	4100	1400	5000	1200
29.8.	3800	3900	700	1400	1500	4000	1800	5000	1100
30.9.	3800	4000	1900	1700	-	3200	1900	5100	1100
31.10.	200	1500	1000	-	-	1100	1200	5000	1100
29.11.	3800	4500	2000	2700	4000	-	1800	5000	1100
30.12.58	3200	4500	1500	2600	-	2800	1800	5100	1400
30.1.59	3000	4300	400	1900	-	3300	1800	5100	1100
28.2.	3300	4400	1700	1500	-	3500	1800	5000	1000
31.3.	3200	3800	2100	1700	1700	2700	1800	5100	1300
30.4.	2800	3900	100	2500	1900	3000	1800	5000	1100
30.5.	900	3800	-	2200	1900	3100	1700	5100	1300
30.6.	3200	600	1300	2400	2300	3900	1700	5000	1200
31.7.	2500	3800	1700	1900	1400	2500	1800	5100	1100
Tagesmittel:	2795	3710	1171	1695	1657	2819	1576	5043	1029

Da diese Mittelangaben noch recht ungenau sind, werden in Tabelle 6 die Förderzahlen von 7 Tagen vor dem Stichtag gegeben.

Aus den verschiedenen Mittelwerten der beiden Tabellen ergibt sich die Summe des täglich geförderten Wassers zu 21 178 m^3 oder pro Bohrung ein Durchschnitt von täglich 2 353 m^3 geförderten Wassers.

Stellt man nun diesen Förderzahlen die gemessenen Absenkungswerte gegenüber, so ergibt sich ein interessantes Bild (Tabelle 7).

Aus den Absenkungszahlen der Tabelle 7 ergibt sich zunächst kein direkter Zusammenhang zwischen der Förderung und der Absenkung. Die Bohrungen stehen alle in der Talaue und haben bei einer theoretischen Förderpause vermutlich alle einen ähnlichen Ruhewasserspiegel. Trotzdem haben alle Bohrungen mit nahezu gleicher Förderung einen verschiedenen Absenkungswert und umgekehrt.

Tabelle 6

Datum	3a	4a	5a	6a	8a	9a	11a	12a	13
27.2.57	21800	35700	10800	14500	17500	12800	11900	33200	7800
27.3.	21500	35500	9800	12900	16400	17400	11900	33400	5700
30.5.	22100	33300	12100	17700	17600	26600	11200	33800	8100
29.6.	20000	29100	9400	17700	17000	19300	8400	33700	6800
30.7.	9400	28600	9900	9100	13400	23000	6600	33500	7100
30.8.	15100	29900	13500	16500	14500	17900	11800	34300	6900
28.9.	22500	29000	13300	14700	12900	23000	5100	33600	7100
31.10.	17900	30000	7500	9700	15700	17200	3700	34400	7200
30.11.	17800	29300	9200	11200	14200	13600	7100	35100	-
30.12.57	10900	19000	8100	14500	13200	12000	2700	35300	-
31.1.58	14700	29000	8200	9400	13900	25000	11500	34100	7700
27.2.	18900	30400	-	6700	14000	21300	6400	34700	7800
28.3.	15900	29000	-	13300	14400	17200	13300	34800	7900
30.4.	22000	25200	-	9600	11400	15800	11700	32700	8600
31.5.	16500	24000	10700	3100	11800	16300	4600	35200	7800
30.6.	15800	22700	9500	11400	15700	14100	11100	35300	6500
30.7.	21100	25300	6700	9700	14200	19900	11800	35100	7400
29.8.	20200	26800	6500	13300	13700	20000	8700	35300	8100
30.9.	22800	23500	8600	13000	1400	22700	11200	35400	8100
31.10.	12200	23300	8500	600	200	13900	9100	35200	8200
29.11.	23800	26100	5500	15200	4200	22100	11500	35300	7800
30.12.58	7000	28100	11600	14700	-	12000	7500	35600	3600
30.1.59	20000	27900	7600	6800	-	21700	11900	35800	8300
28.2.	20100	29900	10000	10700	-	22800	12400	35500	7200
31.3.	13900	27400	11200	9900	9100	12400	12500	35600	8000
30.4.	19500	27100	3500	10900	12300	17500	12000	35400	7400
30.5.	16200	28000	8500	16400	11700	19000	11600	35500	9000
30.6.	19400	23100	10700	17000	15400	25000	11100	35400	7700
31.7.	23500	27400	11000	17100	13200	23400	12000	35100	7000
31.8.	17900	27000	12100	14400	16300	25600	13500	35700	7800
30.9.59	19100	22800	8500	17500	13700	25700	13000	35900	7800
Tages-mittel	2578	3933	1210	1748	1653	2747	1423	4972	914

Tabelle 7: Gegenüberstellung des Förderdurchschnitts mit den Absenkungswerten.

Bohrung Nr.	Tägl. Förder-durchschnitt (in m^3)	Absenkungen vom 30.9.59 (in m unter Flur)	Absenkungen vom 30.11.57 (in m unter Flur)
3a	2578	15,38	15,30
4a	3933	14,87	16,10
5a	1210	14,58	13,00
6a	1748	15,26	14,60
8a	1653	18,05	17,60
9a	2747	18,98	17,80
11a	1423	18,91	18,30
12a	4972	11,87	12,70
13	914	9,10	8,70

Die Bohrung mit der höchsten Förderung hat sogar die vergleichsweise geringste Absenkung. Dagegen weisen die Bohrungen 8a und 11a mit verhältnismäßig geringer Förderung eine erhebliche Absenkung auf. Wie schon anfangs gesagt, haben alle Bohrungen nahezu die gleiche Endteufe und stehen vermutlich in nahezu gleichem stratigraphischem Niveau. Daher kann man die unterschiedlichen Verhältnisse Förderung : Absenkung nur durch fazielle Schwankungen der Porosität und Permeabilität erklären. Als weiterer Vergleich bietet sich an, die Absenkung in verschiedenen Jahren zu betrachten. Zum Vergleich sollen das Jahr 1957, ein Jahr, dessen Niederschläge nicht besonders aus dem Rahmen fielen, und das Jahr 1959 mit seinem extrem trockenen Sommer und Herbst dienen.
Bei mindestens gleichbleibender Förderung hätte man erwarten können, daß die Absenkung 1959 hätte weit größer sein müssen als 1957. Dies ist jedoch nicht der Fall; in einigen Bohrungen ist sie sogar etwas geringer als 1957. Hieraus ist wiederum zu schließen, daß die Menge des Niederschlags sich nicht unmittelbar in den Absenkungen dokumentiert und daß vielmehr das Speichergebiet so groß ist, daß man ohne erhebliche Absenkung weiterfördern kann, auch wenn einmal in einem Jahr die Niederschläge unter dem Jahresmittel bleiben.

Wie auf den Profilen (Anlagen Nr. 4 und 5) ersichtlich, liegen der Buntsandstein und das Rotliegende z.T. als Trogfüllung auf dem produktiven Karbon. Eine grobe Schätzung ergibt für das Speichergebiet des Lauterbachtales ein Volumen von ca. 7 km^3 speicherfähigem Gestein. Bei einer mittleren Porosität von nur 20 % ergeben sich bereits 1,4 . 10^9 m^3 Wasser. Bei einem mittleren Niederschlag von 750 mm im Jahr ist nur ein Einzugsgebiet von 20,34 km^2 erforderlich, um die entsprechende Menge zu ergänzen. Dieses Einzugsgebiet läßt sich schon ober-

flächenmäßig aus den Wasserscheiden errechnen, obwohl als sicher anzunehmen ist, daß die oberflächlichen Wasserscheiden im Warndt keine bedeutende Rolle für den Grundwasserhaushalt spielen. Vielmehr steht das gesamte Gebiet als geschlossener Wasserspeicher zur Verfügung. Für die Errechnung des Einzugsgebietes wurde ein Versickerungswert von 50 % zugrundegelegt, ein Wert, der später noch genauer zu erklären sein wird.
Für die Förderung steht das gesamte Bohrprofil in annähernd gleichem Maße als Speicher zur Verfügung. Eine seitliche Abgrenzung des Feldes läßt sich nur schwer durchführen, jedoch dürften im SE die streichenden Störungen verlehmt sein, wodurch als Einzugsgebiet hauptsächlich der Bereich NW des Lauterbachtales in Frage käme. Die Bohrungen liegen auf einer Linie von 5 km Länge. Ein Einzugsgebiet von 20,3 km^2 zur Ergänzung der täglichen Förderung ist also mit einem Geländestreifen von 4 km gegeben. Eine Förderung aus dem Rotliegenden wird nirgendwo vorgenommen.

Wasseranalyse:
Entnahmepunkt: Maschinenhaus des Wasserwerks Lauterbachtal. Mischwasser aus den Bohrungen des Lauterbachtales und des Bist - Tales.
Datum der Entnahme: 29.6.1961
Bakteriologischer Befund:
Gesamtbakterienzahl: in 1 cm^3 = 3 Keime
Bact. coli: in 1 bis 100 cm^3 nicht nachweisbar
Physikalischer Befund:
Temperatur des Wassers bei der Entnahme: 10,0° C
Temperatur der Luft " " " : 18,0° C
Klarheit: Klar und durchsichtig
Farbe: Farblos
Geruch: Geruchlos
Geschmack: ohne Geschmack
Bodensatz: nicht vorhanden

Chemischer Befund:

Reaktionen:	Kongorot:	alkalisch
	Lackmus	sauer
	Phenolphthalein:	sauer
	Methylorange:	alkalisch

CO_2, frei	38,5 mg/l
CO_2, kalkangreifend . . .	34,2 "
CO_2, gebunden	19,8 "
Bikarbonatkohlensäure . .	39,6 "
HCO_3.	54,9 "
Cl.	16,7 "
HNO_2, gebunden.	0,0 "
HNO_3, gebunden.	1,0 "
H_2SO_4, gebunden	14,5 "
Kieselsäure	6,0 "
Ammonium.	0,0 "
Ca.	16,2 "
Mg.	8,3 "
Fe.	0,08 "
Mn.	0,0 "
Ein Liter Wasser verbraucht: $KMnO_4$	2,7 mg
O_2.	0,69 "
Abdampfrückstand (105°)	98,0 mg/l
Methylorangealkalidität	9,0 cm^3
Säurebindungsvermögen	36,0 mg/l
Gesamthärte	3,6 DH
Karbonathärte	2,5 DH
Bleibende Härte	1,1 DH

b) Das Bist-Tal und andere Bohrungen

Im Bist-Tal zwischen Differten und Überherrn befinden sich eine Reihe von Wasserbohrungen, die teils zur Wasserversorgung der Stadt Völklingen gehören und teils in der Regie der Saarbergwerke abgeteuft worden sind.

Über die Förderung der 7 Völklinger Bohrungen liegen keine Zahlenangaben vor, und die Angaben über die Bohrungen der Saarbergwerke sind lückenhaft, da im Augenblick noch nicht alle Bohrungen fördern. Ein eigenes Wasserwerk Bist-Tal ist im Aufbau und soll die Betreuung der Bohrungen übernehmen.

Tabelle 8: Förderung der Bist-Tal-Bohrungen (4) in 1000 m^3/Monat.

	1956	1957	1958	1959
Januar	65,0	7,8	73,8	140,7
Februar	70,0	-	108,7	120,0
März	67,0	-	135,0	140,0
April	56,0	-	130,0	140,0
Mai	56,0	76,0	130,0	140,0
Juni	55,0	100,0	125,0	150,0
Juli	62,0	150,0	119,0	165,0
August	75,0	128,0	135,0	150,0
September	68,0	115,7	135,0	130,0
Oktober	75,0	150,0	143,0	150,0
November	54,0	166,6	140,0	150,0
Dezember	63,0	159,9	140,0	125,0

Aus dieser Tabelle (8) ergibt sich ein monatliches Mittel von 111 900 m^3.
Da noch nicht alle Bohrungen fördern, sollen in der folgenden Tabelle die angestellten Pumpversuche der Bohrungen 6 - 11 aufgeführt werden. Der zweite Teil der Tabelle enthält die Ergebnisse der Pumpversuche der Völklinger und anderer Bohrungen.
Von den verschiedenen weiteren, in Tabelle 1 aufgeführten Bohrungen, die in mehreren anderen Gemarkungen niedergebracht worden sind, können leider keine Werte angegeben werden, da die Angaben über Ansatzpunkt und Endteufe nicht hinausgehen.

Tabelle 9: Pumpversuche der Bist-Tal- und anderer Bohrungen.

Bohrung	Ruhewasserspiegel (m unt. Flur)	m^3/min	Absenkung	Förderteufe (m)
Bist 6		2,6	4,34	
		3,1	4,90	
		3,3	5,05	
		3,5	5,23	
		2,6	4,55	
		2,6	4,84	
		2,1	4,40	
Bist 7		1,6	6,00	76,0
		1,6	6,00	100,0(ET)
Bist 8		1,86	11,3	
		1,86	11,3	
		1,86	11,25	
		2,0	12,3	
Bist 9		2,0	5,90	
		3,3	8,60	
Bist 10		4,61	5,00	75,0
		4,83	4,65	ET
Bist 11		3,0	6,00	ET
		2,7	6,00	ET
		2,3	6,00	ET
		0,174	5,90	39,9
Völkl. 1		0,60	artesisch	
		2,1	6,0	
Völkl. 2		0,24	artesisch	
		1,32	6,0	
Völkl. 3		0,40	artesisch	
		2,10	6,0	
Völkl. 4		0,30	artesisch	
		3,7	6,0	
Völkl. 5		0,5	artesisch	
		3,6	6,0	
Völkl. 7	0,70	1,83	9,5	
Nr. 49	6,70	2,14	12,92	
Nr. 50	10,00	1,93	13,20	
Nr. 54	4,00	1,20	16,45	
Nr. 59	1,70	0,03	6,50	
Nr. 61	12,50			
Nr. 86	6,65	1,80	16,15	

Abschließend muß darauf hingewiesen werden, daß oft schon bei geringer Förderung eine erhebliche Absenkung auftritt. Dies ist eine Tatsache, auf deren Ursachen später noch eingegangen werden soll.

c) Die Wasserversorgung der Gemeinden im Warndt.
Die Wasserversorgung der Warndtgemeinden ist im Augenblick in einer großen Umstellung begriffen. Bisher wurden die folgenden Gemeinden von der grubeneigenen Förderanlage Lauterbachtal versorgt:
Großrosseln, Emmersweiler, Naßweiler, St. Nicolaus, Karlsbrunn, Dorf im Warndt, Lauterbach und Ludweiler.

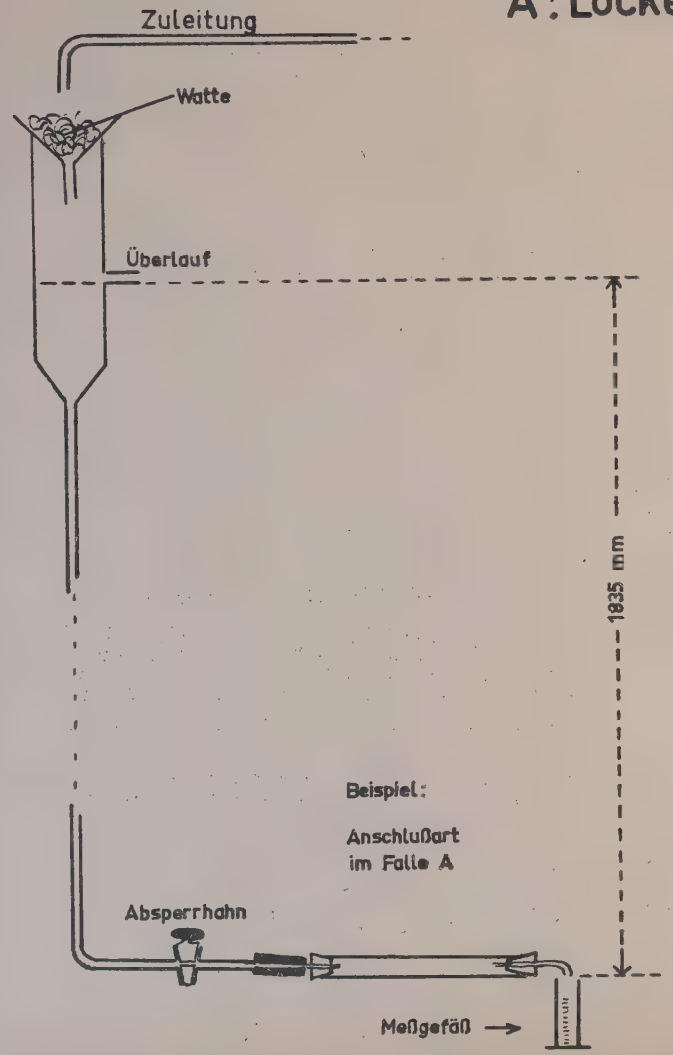
Die Versorgung geschieht in folgender Weise: Aus dem Wasserwerk Lauterbachtal wird Wasser aus den beiden Fördergebieten Lauterbachtal und Bist-Tal durch Pumpen in einen Hochbehälter am Westschacht gepumpt. Von dort aus führen Falleitungen zu den einzelnen Gemeinden. Die Gemeinde Differten hat eine eigene Wasserversorgung, beziehungsweise ist zum Teil an die Gewinnungsanlagen der Stadt Völklingen angeschlossen. Bisten, Berus und Werbeln haben ebenfalls eine eigene Versorgung. Im Augenblick werden im Werbelner Bachtal Bohrungen abgeteuft, deren Wasser später zu einer zentralen Wasserversorgung aller Warndtgemeinden Verwendung finden soll. Über die Höhe der zu erwartenden Förderung, für die 8 - 10 Bohrungen niedergebracht werden, ist noch nichts auszusagen, da von diesen Bohrungen erst vier abgeteuft sind. Pumpversuche können erst nach Fertigstellung aller Bohrungen ein eindeutiges Bild ergeben. Zur Verwertung des im Werbelner Bachtal gewonnenen Wassers soll ein Zweckverband gegründet werden, der aus den Warndtgemeinden, dem Landkreis Saarbrücken und der Stadt Völklingen bestehen wird. (Eine schematische Darstellung der Wasserversorgungen ist in Anlage Nr. 6 gezeichnet worden.)

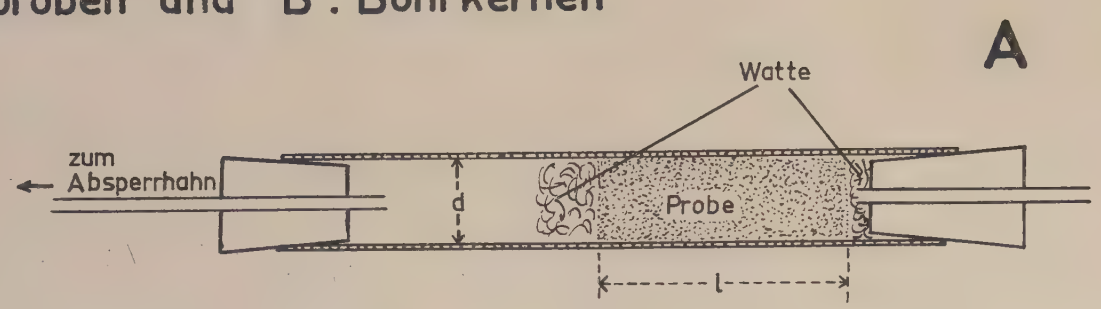
2. Durchlässigkeitsmessungen

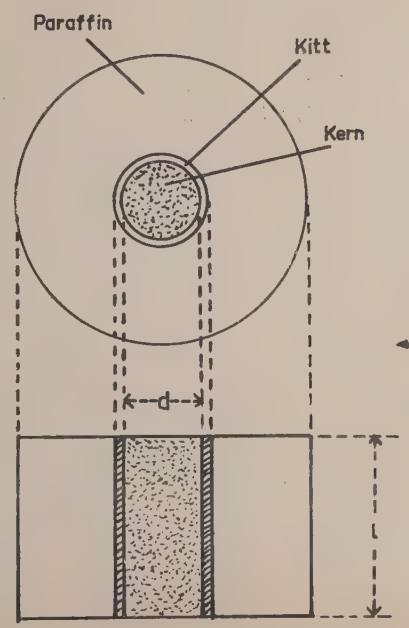
a) Lockerproben

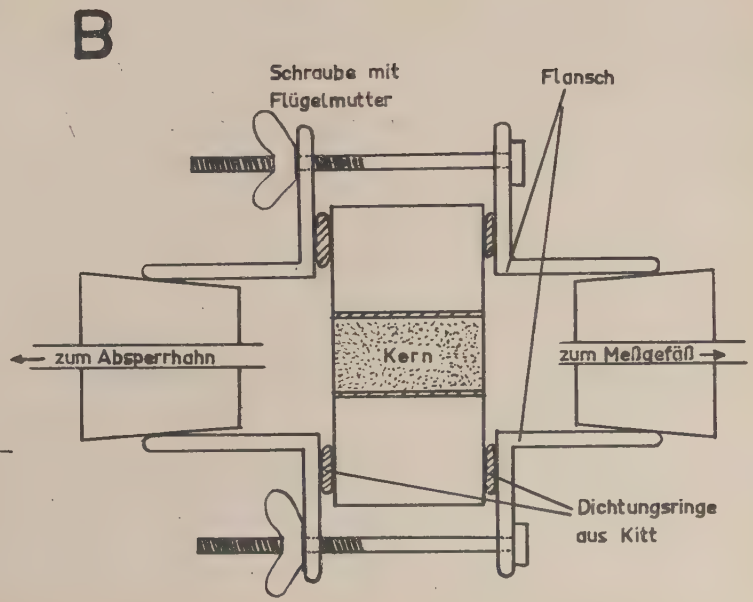
Für die Messung der Durchlässigkeiten von Lockerproben wurden an verschiedenen Stellen des Bearbeitungsgebietes Proben entnommen. Ein Verzeichnis der Entnahmepunkte befindet sich in Tabelle 3 auf den Seiten 25 und 26. Die Probenahme geschah in folgender Weise:
Aus Wegeböschungen, Sandgruben und von anderen geeigneten Stellen wurden mittels Glasröhrchen von 20 mm Durchmesser möglichst ungestörte Proben von 3 - 8 cm Länge entnommen. Da die oberflächennahen Schichten des Buntsandsteins oft sehr locker sind, konnte mit dieser Methode ein Netz von Untersuchungen quer über das Bearbeitungsgebiet gelegt werden. Waren die Sandsteine stärker verfestigt, so mußte versucht werden, größere Handstücke zu gewinnen, aus denen dann im Labor mit einem Kronenbohrer von 18 mm Durchmesser, dessen Krone mit WIDIA - Zähnen besetzt war, kleine Bohrkerne zur Untersuchung gewonnen werden konnten. Dies war jedoch oft nicht möglich, da viele Sandsteine, die für eine Entnahme als Lockerprobe nicht geeignet waren, schon beim Versuch, mit dem Hammer ein Handstück zu gewinnen, in lockeren Sand auseinanderfielen.
Die Lockerproben wurden dann in dem jeweiligen Glasrohr von beiden Seiten mit Watte verstopft, damit während des Transports keine Lockerung des Gefüges auftreten konnte. Dann wurden die Glasröhrchen beiderseits mit einem Gummistopfen verschlossen. Im Labor wurden dann die Proben möglichst sofort bearbeitet. Zunächst wurde die Watte bis auf einen geringen Rest wieder entfernt, damit der Durchfluß des Wassers nicht behindert werden konnte; der Rest war jedoch erforderlich, um die Probe weiterhin einzuschließen, da sie sonst, der Schwerkraft folgend, auseinandergeflossen wäre.

Abb. 2: Skizze der Versuchsanordnung zur Messung der Durchlässigkeiten von A: Lockerproben und B: Bohrkernen









Dieser Rest von etwa 0,20 - 0,30 g Trockengewicht nahm im Röhrchen noch eine Länge von etwa 1,5 bis 2 cm ein und war also locker gestopft. Diese Menge Watte hatte, wie in Vorversuchen festgestellt wurde, bei den gemessenen Durchflußwerten von 0 - 100 cm^3/min keinen meßbaren Einfluß. Eine Beeinflussung um 5 % durch Watte von einem Gewicht von 0,27 g auf einer Rohrlänge von 1,7 cm trat erst bei einem Durchfluß von 220 cm^3/min auf. In diesem Falle war der freie Durchfluß (ohne Watte) 231,0 cm^3/min. Mit einem Druck von 1835 mm Wassersäule, eine Apparatekonstante, wurden dann alle Proben gemessen.

Zur Messung der Durchlässigkeit mit dem genannten Druck wurde folgende Versuchsanordnung verwandt:

In das Überlaufgefäß (s. Abb. 2) wird das Wasser durch einen Trichter geleitet, der mit Watte gefüllt ist. Diese Watte hat den Zweck, die im Leitungswasser enthaltene Luft sowie sonstige gelöste Stoffe weitgehend zu entfernen. Durch die geringe Menge Wasser, die in der Zeiteinheit durch den Trichter läuft, tritt außerdem eine Erwärmung ein, die das Ausscheiden besonders der Luft sehr begünstigt. In Vorversuchen wurde festgestellt, daß bei fehlender Vorreinigung ein zeitlicher Gang in den Meßergebnissen nicht zu vermeiden ist. Besonders die gelöste Luft setzt sich bei zunehmender Erwärmung an den Glaswänden und besonders innerhalb der Poren der zu untersuchenden Probe ab und verfälscht damit die Versuchsergebnisse erheblich. Bei der Anwendung der Vorreinigung in der beschriebenen Weise, die trotz ihrer Einfachheit sehr zweckmäßig ist, tritt ein zeitlicher Gang mit einer Abnahme des durchfließenden Wassers um 5 % erst nach etwa 20 - 25 min auf. Bei den verwendeten Meßzeiten von 2 - 10 min kann dieser Fehler also unberücksichtigt bleiben. Bei stetigem Zufluß durch die Zuleitung bleibt durch den Überlauf ein stets

gleicher Druck von 1835 mm Wassersäule erhalten.
Das zur Untersuchung vorbereitete Röhrchen wird vorsichtig an beiden Seiten mit Wassergefüllt und, wie es in Abb. 2 unter A gezeichnet ist, mit durchbohrten Stopfen verschlossen. In dem Stopfen der Zuflußseite befindet sich ein Glasröhrchen, das über ein Stück Schlauch an den Absperrhahn angeschlossen wird. In dem Stopfen der Ausflußseite befindet sich ein leicht gebogenes Röhrchen, aus dem das Wasser in ein Meßgefäß tropft. Vor dem Anschluß ist sehr darauf zu achten, daß alle Rohr- und Schlauchwege luftfrei sind.
Wie schon erwähnt, wurden bei der Messung der Permeabilität nur relativ kurze Durchlaufzeiten benutzt. Bei den wenig durchlässigen Proben wurde bis zu 10 min gewartet, bis eine meßbare Menge Wasser sich im Meßzylinder angesammelt hatte oder sicher war, daß die Probe dicht war. Bei gut durchlässigen Proben war meist schon nach einer Minute eine ausreichende Menge vorhanden. Sofort im Anschluß an die Mengenbestimmung wurde die Temperatur gemessen, da sie in die Formel zur Berechnung der Permeabilität zweifach eingeht.
Die Formel (DARCY'sches Gesetz), nach der die Durchlässigkeit berechnet wurde, lautet:

$$D = \frac{Q \cdot l \cdot E}{p \cdot d}$$

D = Durchlässigkeitswert, /D/ = cm^2 = Darcy (d) bzw. Millidarcy (md)
Q = Wassermenge in l/min
E = eta = Viskositätskonstante von Wasser
/E/ = $g.sec.cm^{-2}$
p = Druck bei 15,0 - 17,9° = 0,1837 kp/cm^2
18,0 - 20,6° = 0,1838 "
20,7 - 23,0° = 0,1839 "
23,1 - 25,3° = 0,1840 "
d = Flächenquerschnitt = 3,0791 cm^2
l = Länge der Probe in cm

Die Berechnung von E mußte auf Zehntelgrade genau ausgeführt werden. In einschlägigen Physikbüchern findet man jedoch höchstens Angaben für E in Abständen von 10° C. Es mußten daher genauere Werte errechnet werden. Dazu wurde folgende Formel benutzt:

$$E_t = \frac{E_o}{1 + \alpha t + \beta t^2}$$

Aus dieser Formel wurden zunächst mittels zweier bekannter Werte die Konstanten α und β errechnet. ($E_{10} = 1{,}307$; $E_{20} = 1{,}002$)

Aus der obigen Formel ergibt sich durch Umformen:

$$\alpha = \frac{\frac{E_o}{E_t} - \beta t^2 - 1}{t} = \frac{E_o}{t.E_t} - \beta t - \frac{1}{t}$$

Nach Einsetzen von $E_o = 1{,}792$ und $E_{10} = 1{,}307$ ergibt sich für α:

$$\alpha = \frac{1{,}792}{13{,}07} - 10\beta - \frac{1}{10}$$

Durch Einsetzen dieses Wertes für α erhält man für die Errechnung von β (eingesetzt wird in die Formel für E_{20}):

$$E_{20} = \frac{E_o}{1 + 20\alpha + 400\beta} = 1{,}002$$

$$= \frac{1{,}792}{1 + 20\left(\frac{1{,}792}{13{,}07} - 10\beta - \frac{1}{10}\right) + 400\beta}$$

Rechnet man diese Formel für β aus, so erhält man

$$\beta = 0{,}000\ 229\ 22$$

Nun ist die Berechnung von α einfach. Man erhält

$$\alpha = 0{,}034\ 836\ 757$$

Mit Hilfe dieser Konstanten wurden die Werte für E von 15 - 25° C von Grad zu Grad ausgerechnet.

Tabelle 10: Berechnete Werte für die Viskositätskonstante E von 15 - 25° C.

$$E_{15} = \frac{1,792}{1 + 0,522\,551\,355 + 0,051\,574\,50} = 1,138$$

$$E_{16} = \frac{1,792}{1 + 0,557\,388\,112 + 0,058\,680\,32} = 1,109$$

$$E_{17} = \frac{1,792}{1 + 0,592\,224\,869 + 0,070\,141\,32} = 1,078$$

$$E_{18} = \frac{1,792}{1 + 0,627\,061\,626 + 0,074\,267\,28} = 1,053$$

$$E_{19} = \frac{1,792}{1 + 0,661\,898\,383 + 0,082\,748\,42} = 1,027$$

$$E_{20} = \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots = 1,002$$

$$E_{21} = \frac{1,792}{1 + 0,731\,571\,897 + 0,101\,086\,02} = 0,978$$

$$E_{22} = \frac{1,792}{1 + 0,766\,408\,654 + 0,110\,942\,48} = 0,955$$

$$E_{23} = \frac{1,792}{1 + 0,801\,245\,411 + 0,121\,257\,38} = 0,932$$

$$E_{24} = \frac{1,792}{1 + 0,836\,082\,168 + 0,132\,030\,72} = 0,911$$

$$E_{25} = \frac{1,792}{1 + 0,870\,918\,925 + 0,143\,262\,50} = 0,890$$

Für die Berechnung der Durchlässigkeiten waren auch Zehntelgrade nötig. Um diese Werte nicht jeweils ausrechnen zu müssen, wurden die obigen Werte (Tabelle 10) graphisch aufgetragen. Bei einem entsprechend großen Maßstab können Zehntelgrade dann mühelos genau abgelesen werden.
An den 115 Proben wurde nun in der beschriebenen Weise die Durchlässigkeit gemessen und die Durchlässigkeitswerte nach der Formel von DARCY mit Hilfe der Meßergeb-

nisse und der Konstanten berechnet. In der folgenden Tabelle (11) werden nunmehr die Durchlässigkeitswerte, die gemessenen Größen und die prozentuale Korngrößenverteilung zusammengestellt.
Aus den gemessenen 115 Proben ergibt sich ein Mittelwert für die Permeabilität von 334,8 md. Zusammenhänge zwischen der Durchlässigkeit und der Korngrößenverteilung sind auf den ersten Blick nicht zu erkennen. Proben mit fast genau gleicher Korngrößenverteilung haben verschiedene Durchlässigkeiten, und umgekehrt haben Proben mit gleicher Durchlässigkeit völlig unterschiedliche Kornverteilungen. Erst in einer zusammenfassenden Darstellung, wie sie in Abb. Nr. 3 und Tabelle 12 gegeben wird, lassen sich Zusammenhänge zwischen der Permeabilität und der Korngrößenverteilung feststellen. Die Zusammenfassung besteht darin, daß die Proben nach der Durchlässigkeit geordnet und danach in Gruppen von 0 - 100 md, 100 - 200 md, 200 - 300 md usw. zusammengefaßt werden.
Für die Darstellung in Abb. Nr. 3 wurden 8 Korngrößenbereiche ausgewählt, die mit den Buchstaben a - h bezeichnet wurden. Die Bereiche a und h enthalten mehrere der gemessenen Fraktionen, und zwar der Bereich a alle Fraktionen $< 0{,}050$ und der Bereich h alle fraktionen $> 0{,}75$ mm Durchmesser. Eine Darstellung der einzelnen Fraktionen ist wegen der geringen Menge nicht möglich. Trägt man nun die Korngrößenfraktionen in Summenprozenten in Abhängigkeit von der Durchlässigkeit auf, so ergibt sich das Bild der Abb. 3. Während in dem Bereich von 0 - 400 md jeweils eine größere Anzahl Proben vereinigt werden konnte, ist dies bei höheren Durchlässigkeiten nicht mehr der Fall, so daß also keine statistisch gültigen Werte eingetragen werden konnten. Trotzdem passen sich auch Einzelwerte, abgesehen von dem Bereich von 600 - 900 md, gut in das Gesamtbild ein.

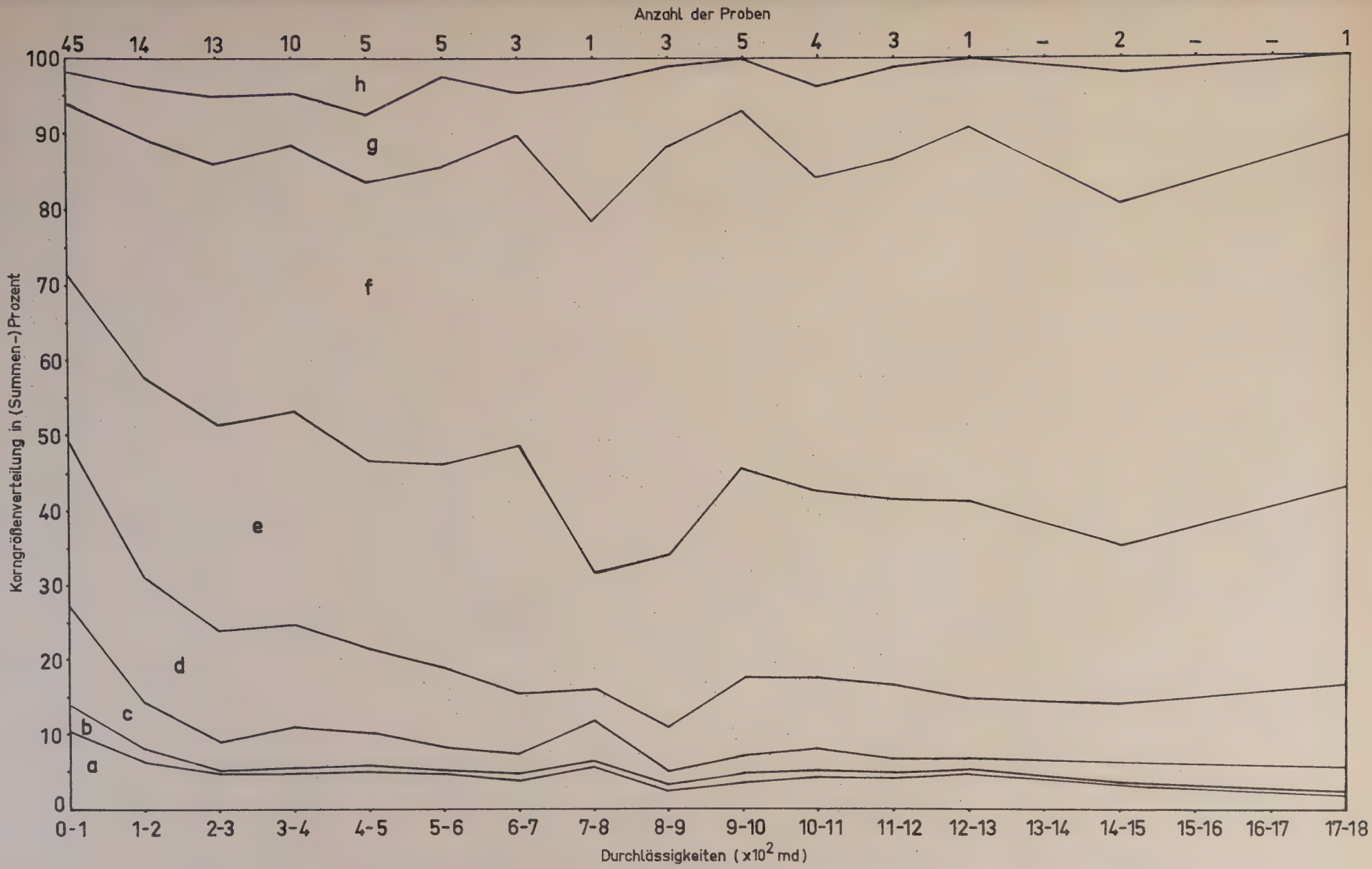


Abb. 3: Die Korngrößenverteilung in Abhängigkeit von der Durchlässigkeit

Korngrößenbereiche:

a: < 0,050 mm	c: 0,075 – 0,120 mm	e: 0,200 – 0,300 mm	g: 0,500 – 0,750 mm
b: 0,050 – 0,075 "	d: 0,120 – 0,200 "	f: 0,300 – 0,500 "	h: > 0,750 "

Tabelle 11: Zusammenstellung der Meßdaten, der Durchlässigkeiten und der Korngrößenverteilung.

Nr.	k_{10} cm³/min	I	°C	D	Ton	jeweils > 0,033	0,033	0,05	0,075	0,12	0,20	0,30	0,50	0,75	1,20	2,00	3,00	5,00
1	1,4	5,1	18,0	13,28	13,15	0,49	2,94	8,34	28,46	30,91	9,81	3,43	0,49					
2	0,3	5,7	20,0	3,03	16,32	4,83	4,83	11,67	22,93	25,35	9,25	3,62	0,40					
3	12,7	6,0	20,5	133,30	3,24	0,40	0,40	3,60	12,39	23,59	23,19	32,39	0,40					
4	4,1	4,0	19,8	29,18	9,36	1,04	2,59	4,66	17,61	33,67	16,57	13,47	0,52					
5	40,0	5,4	18,5	396,55	2,68	0,40	0,40	1,62	8,48	12,52	31,50	40,79	0,81					
6	5,3	4,3	21,5	38,92	8,67	0,51	2,03	6,60	24,86	25,86	13,19	14,21	2,53					
7	8,8	6,1	22,0	90,53	5,36	0,40	0,80	4,81	12,83	21,25	20,05	31,28	2,01					
8	7,1	5,7	23,0	66,61	8,24	1,60	2,80	6,41	16,43	25,64	20,84	15,23	0,40					
9	84,0	10,5	16,0	1729,29	1,20	0,20	0,20	0,40	3,20	11,60	26,00	46,00	10,40	0,40				
10	0,37	6,0	21,0	3,83	16,68	0,32	0,32	1,90	16,79	41,82	18,37	2,22	0,16					
11	0,43	4,3	20,6	3,22	9,68	0,56	0,56	4,46	31,78	44,04	8,36	0,56						
12	0,81	6,6	20,8	9,27	6,24	0,17	0,33	0,66	4,88	20,95	35,91	27,60	1,99					
13	1,65	3,4	21,0	9,69	10,26	0,33	0,65	2,60	26,01	46,82	11,05	0,33	0,33					
14	17,00	4,9	21,8	141,22	4,33	0,21	0,21	0,41	3,70	11,09	16,83	39,42	17,25	1,64	0,41			
15	83,16	5,7	18,4	874,42	1,73	0,20	0,41	0,82	2,46	7,37	20,47	52,82	13,10	0,41				
16	85,00	7,3	17,9	1156,24	2,14	0,34	0,34	0,34	1,68	9,05	29,49	45,24	10,72	0,34				
17	14,9	8,1	19,5	216,24	4,58	0,33	0,33	0,99	8,55	29,61	31,26	22,05	0,33					
18	116,3	4,5	19,0	949,71	3,52	0,25	0,25	0,49	0,49	5,41	26,09	47,75	9,84	0,98				
19	127,3	4,0	17,2	965,94	2,85	0,34	0,34	0,67	1,34	6,70	22,11	52,26	12,06	0,67				
20	57,6	4,9	17,7	528,92	2,77	0,24	0,47	0,95	3,32	10,91	21,34	36,52	18,97	3,79				
21	75,0	6,5	18,0	907,06	3,26	0,34	0,34	1,01	3,72	17,25	32,47	37,21	3,72					
22	69,5	8,7	17,7	1129,92	3,34	0,26	0,26	0,51	2,81	15,85	29,41	41,43	5,63	0,26				
23	51,0	6,1	20,1	549,71	7,14	0,36	0,71	1,07	4,27	12,10	29,89	37,71	4,63	0,36				
24	37,5	6,5	18,9	442,76	3,15	0,34	0,67	1,01	4,37	12,44	18,50	41,36	14,46	2,02				
25	46,2	7,1	22,1	552,64	1,83	0,32	0,32	0,63	2,85	9,18	16,47	41,80	19,00	4,12	0,63			
26	18,8	8,8	18,7	301,98	2,07	0,60	0,60	1,50	8,39	23,06	36,84	23,36	2,10					
27	10,4	7,1	19,5	132,30	3,09	0,59	0,59	2,35	5,29	13,80	23,40	44,64	5,58					
28	80,3	6,1	18,2	905,33	1,94	0,37	0,37	0,73	3,92	9,88	28,91	48,30	5,85					
29	20,9	5,7	18,8	216,39	2,76	-	0,39	0,79	12,20	34,64	39,37	8,66	0,39					
30	27,4	6,5	18,8	323,51	3,02	0,33	0,65	2,28	13,34	38,08	32,54	9,11	0,33					
31	46,8	4,0	18,3	345,33	3,82	0,27	0,27	0,54	4,89	19,56	33,69	29,34	5,98					

Fortsetzung Tabelle 11

Nr.	cm^3/min	l	°C	D	Ton	jeweils > 0,033	0,033 0,05	0,075	0,12	0,20	0,30	0,50	0,75	1,20	2,00	3,00	5,00
32	90,8	6,1	17,0	1055,61	3,10	-	0,36	0,36	2,88	9,01	19,45	48,27	11,53	4,32			
33	151,0	5,2	17,0	1496,46	3,74	--	-	0,43	4,32	12,09	24,17	41,44	12,52	0,86			
34	6,9	4,8	20,2	58,35	3,03	0,46	0,46	0,91	2,73	10,74	38,24	36,42	5,46	0,91			
35	1,6	5,4	20,3	15,19	2,76	0,41	0,41	0,83	2,90	8,28	26,48	49,65	6,21	0,41			
36	1,85	6,7	20,0	21,95	2,98	0,30	0,30	0,61	3,04	9,73	25,55	51,40	5,78	0,30			
37	30,6	5,5	22,7	279,39	3,28	0,20	0,40	0,79	3,17	14,67	30,52	38,45	7,53	0,79			
38	7,8	7,2	22,1	94,62	7,07	0,67	1,33	5,66	25,65	29,64	19,32	7,99	0,33	0,33			
39	1,85	5,0	22,2	15,54	8,86	0,83	1,25	4,58	22,47	43,13	19,98	7,49	0,42				
40	6,5	6,1	21,6	67,57	6,30	0,33	0,65	3,68	27,78	49,53	10,04	0,67					
41	8,4	7,9	20,0	117,49	7,32	1,15	2,58	5,45	20,09	33,28	22,09	7,17	0,57				
42	6,5	6,2	20,6	70,28	3,08	0,75	1,12	4,10	15,66	33,55	27,21	11,93	0,37				
43	8,2	5,6	20,2	80,90	8,47	0,37	0,74	2,96	14,45	37,06	27,05	8,52	0,37				
44	2,00	7,7	21,0	26,60	5,03	0,28	0,57	0,57	3,41	14,50	41,51	31,28	1,71	0,28			
45	84,0	5,7	20,7	832,88	1,95	0,42	0,42	0,84	1,70	6,37	25,04	53,48	8,91	0,42			
46	25,5	8,5	20,1	382,99	3,12	0,26	0,26	0,52	2,06	7,20	28,52	53,19	4,88				
47	0,40	7,2	22,3	4,82	9,57	0,60	0,60	2,40	12,02	27,04	22,83	18,63	4,51	0,90	0,60		
48	6,2	7,4	23,0	75,52	3,74	0,29	0,57	2,01	11,49	30,17	30,17	19,83	0,86				
49	1,08	6,7	23,2	11,85	4,78	0,58	1,16	2,89	13,60	30,97	20,26	19,68	4,92	0,29	0,29		
50	50,3	4,5	22,0	381,17	3,41	0,45	0,90	0,90	1,81	5,42	20,31	40,62	14,89	5,42	1,35	3,61	
51	18,4	7,4	20,9	235,41	3,86	0,32	0,32	0,95	3,16	8,54	13,92	49,97	15,18	2,21	0,32	0,95	
52	15,0	6,1	21,3	156,90	6,50	0,93	0,79	1,18	3,16	14,60	31,56	28,80	10,26	2,76			
53	61,7	5,3	21,0	564,80	4,01	0,22	0,22	0,45	1,79	9,82	25,45	41,52	12,95	2,23	0,45		
54	19,0	6,4	20,6	212,07	5,37	0,33	0,33	1,00	4,98	20,59	39,84	23,91	0,66				
55	21,3	5,0	20,5	113,59	5,85	0,47	0,94	0,94	4,68	18,47	34,19	25,29	7,49	0,47			
56	7,5	5,7	20,7	74,36	6,40	0,40	0,80	1,21	4,82	16,07	31,74	32,14	3,62	0,80			
57	2,1	7,3	21,1	26,42	6,01	0,30	0,59	1,19	5,04	19,87	40,32	25,20	0,89				
58	22,0	5,5	20,5	211,45	3,07	0,39	0,39	0,78	2,33	5,04	19,39	42,26	20,16	3,88	1,16		
59	2,8	7,1	19,8	35,37	4,75	0,29	0,59	0,59	2,36	14,45	27,42	42,46	5,31	0,29			
60	19,2	7,5	20,1	254,19	2,65	0,28	0,28	0,55	2,22	8,04	25,79	46,04	11,65	1,11	0,28		
61	0,2	6,3	20,0	2,23	5,75	0,34	0,34	1,02	3,07	6,83	12,98	33,12	28,34	6,15	0,34		

Fortsetzung Tabelle 11

Nr.	cm^3/min	l	°C	D	Ton	jeweils > <0,033	0,033 0,05	0,075 0,12	0,20	0,30	0,50	0,75	1,20	2,00	3,00	5,00
62	69,0	8,4	19,4	1040,53	5,20	0,26	0,26	0,52	2,08	5,71	18,44	43,89	17,66	3,38	0,52	0,78
63	0,20	6,8	20,0	24,08	3,19	0,31	0,31	0,61	1,22	5,19	21,07	51,31	14,35	1,83	0,31	
64	23,4	9,4	19,8	391,38	4,00	0,24	0,49	0,49	1,96	5,14	30,37	49,22	6,86	0,73		
65	16,8	7,0	20,7	204,57	5,77	0,31	0,62	0,92	3,70	25,56	23,40	34,80	4,00	0,31		
66	10,5	8,5	19,8	158,81	5,90	0,26	0,53	0,53	3,43	18,98	14,23	44,81	10,02	0,53		
67	17,1	7,5	20,1	226,39	6,46	0,29	0,59	0,88	2,94	18,53	33,83	22,65	11,47	2,06	0,15	
68	1,6	6,3	21,1	17,37	9,94	0,34	1,01	1,68	4,70	10,42	15,46	35,62	16,80	3,02	0,67	
69	19,0	6,5	20,0	218,66	4,92	0,34	0,68	1,02	3,05	7,11	16,24	48,72	15,56	2,03		
70	92,8	6,7	19,2	1121,71	5,16	0,34	0,34	1,01	2,02	4,71	15,13	47,42	20,18	2,02	1,35	
71	32,4	5,7	19,0	335,14	6,51	0,19	0,39	0,78	4,67	3,90	12,08	41,29	24,15	4,28	0,78	
72	84,7	6,8	18,1	1067,58	4,53	0,16	0,31	0,94	4,40	3,45	13,19	53,39	17,59	0,94	0,31	
73	43,5	9,3	18,0	752,72	5,13	0,23	0,23	0,93	5,37	4,44	15,19	46,27	18,23	2,08	0,47	
74	7,2	6,3	18,3	83,68	4,78	0,17	0,34	0,67	3,35	5,03	17,77	44,59	17,43	2,68	0,67	
75	95,5	7,3	21,0	1204,09	4,15	0,16	0,31	0,63	1,88	7,83	26,31	49,49	9,08			
76	90,1	9,4	20,5	1480,06	2,13	0,12	0,12	0,24	1,19	4,29	16,91	49,53	21,43	3,10		
77	36,6	7,4	19,6	484,31	8,00	0,29	0,57	1,14	4,86	12,29	24,57	38,86	6,85	2,29		
78	8,5	7,2	19,6	109,44	10,73	0,62	0,92	3,69	12,62	23,09	22,47	18,78	3,69	2,46	0,31	
79	50,0	7,4	20,0	655,09	3,40	0,32	0,32	0,64	1,93	8,34	44,29	34,98	2,89	0,64	0,32	1,93
80	14,7	7,9	19,5	176,10	3,93	0,34	0,68	0,68	2,39	9,23	26,33	39,66	9,57	3,42	3,42	
81	35,8	7,9	19,5	506,73	3,36	0,29	0,29	0,58	2,04	11,64	41,92	36,68	2,62	0,58		
82	13,9	9,1	20,5	221,05	2,81	0,12	0,24	0,47	0,71	5,93	43,62	39,59	3,79	2,37		
83	14,2	7,8	20,1	195,51	2,90	0,15	0,15	0,59	0,89	6,81	46,18	36,12	5,33	0,89		
84	18,8	7,7	19,7	258,09	3,38	0,14	0,29	0,58	1,45	5,21	19,38	46,29	18,22	3,47	0,58	
85	2,0	7,6	19,7	25,10	6,00	0,54	1,07	2,41	8,84	10,44	18,21	27,05	7,23	3,48	2,68	2,68 3,48 5,36
86	8,0	6,3	19,7	89,86	4,33	0,37	0,74	1,12	4,47	14,52	37,23	29,78	3,35	1,12	2,61	
87	10,8	6,1	19,8	117,22	4,52	0,37	0,74	1,11	4,44	13,69	35,16	32,20	3,33	1,11	2,96	
88	18,1	6,3	19,6	203,91	2,07	0,30	0,61	1,22	3,35	7,60	21,29	27,37	6,08	5,47	5,17	6,39 6,69 6,08
89	12,0	5,3	19,7	113,39	2,22	0,19	0,39	0,78	1,95	6,23	17,92	31,16	11,69	8,96	6,23	5,06 6,62
90	34,6	7,0	19,2	436,95	2,96	0,67	0,67	1,35	6,40	19,21	41,11	20,22	2,70	1,35	1,01	1,01 1,01

Fortsetzung Tabelle 11

Nr.	cm^3/min	l	°C	D	Ton	jeweils > 0,033	0,033 0,05	0,075	0,12	0,20	0,30	0,50	0,75	1,20	2,00	3,00	5,00
91	3,9	6,2	21,3	41,46	6,13	0,66	0,99	2,31	4,63	10,91	20,49	35,70	6,28	2,64	1,98	3,64	3,64
92	30,3	7,0	19,6	379,27	4,27	0,31	0,31	0,63	2,51	8,16	19,77	32,01	6,91	4,08	3,45	4,72	5,34	5,34
93	31,2	7,9	19,6	437,27	4,64	0,29	0,29	0,88	2,64	7,92	24,65	39,61	5,57	2,35	2,35	2,64	2,05	2,93
94	9,3	7,1	20,7	114,86	5,06	0,33	0,65	1,31	3,59	16,31	36,54	28,38	3,92	0,98	1,31			
95	52,3	7,0	19,1	622,42	2,52	0,32	0,32	0,64	1,28	4,47	24,61	54,33	7,67	1,60	1,28			
96	53,0	9,2	19,7	967,33	2,07	0,23	0,47	0,70	1,40	3,96	23,08	55,96	8,86	1,63	1,40			
97	62,6	8,6	19,3	969,34	2,50	1,01	1,01	1,52	4,04	11,11	30,31	45,97	1,01					
98	33,6	7,9	19,8	472,31	2,34	0,27	0,27	0,54	1,90	5,43	16,28	43,40	14,65	10,31	4,34			
99	85,5	6,9	19,1	1067,45	2,28	0,34	0,67	0,67	3,03	20,22	46,50	20,22	1,68	1,01	2,36			
100	41,5	8,1	19,0	610,01	3,73	0,29	0,58	1,16	4,93	11,60	29,58	33,06	6,40	1,74	1,16	0,58	2,32	1,16
101	21,9	7,9	20,0	306,32	4,08	0,55	0,82	1,65	6,05	12,92	35,45	29,96	2,20	0,55	0,55	0,82	3,85	
102	0,90	9,0	19,8	14,41	13,49	2,50	2,73	5,24	9,33	13,43	21,17	21,86	3,64	1,82	1,37	1,37	1,14	0,46
103	1,0	9,2	20,3	16,16	10,16	3,46	2,81	5,61	9,07	13,82	23,76	20,30	3,89	2,16	1,51	1,72	1,30	
104	2,8	5,3	20,3	26,06	7,48	2,87	2,46	4,91	9,83	15,56	24,97	22,93	5,32	1,23	0,41	0,41	0,41	
105	1,42	6,1	20,5	15,14	13,30	2,38	2,72	5,44	10,20	16,32	23,12	21,08	3,06	0,34				
106	5,3	8,9	20,3	82,85	5,96	1,95	2,20	4,89	9,04	14,17	20,03	29,56	9,77	2,20				
107	4,3	7,3	20,8	54,44	11,45	1,96	2,53	7,87	20,80	23,33	16,30	10,68	2,25	0,56				
108	1,2	8,1	20,4	17,04	14,49	2,06	2,65	7,96	22,11	25,06	12,38	8,55	2,65	0,59	0,59			
109	3,9	8,7	20,5	59,29	6,44	1,99	2,23	4,22	7,69	14,93	30,03	27,55	2,23	0,99	0,74	0,50	0,50	
110	2,05	8,2	20,6	29,32	7,31	2,33	2,59	4,40	8,54	13,72	31,07	25,89	2,07	0,26	0,26	0,52	0,52	
111	2,07	6,5	20,5	23,51	8,57	1,95	2,59	4,86	8,75	15,56	31,13	23,34	0,97	0,65	0,32	0,32		
112	0,93	7,7	20,3	12,58	10,34	2,75	3,03	5,23	8,80	12,93	20,55	27,23	4,95	1,93	0,55	0,55	0,28	
113	10,0	9,1	20,7	158,30	5,42	0,71	0,95	2,38	10,01	22,63	24,78	27,87	4,05	0,24	0,24	0,24		
114	1,63	8,3	20,8	23,46	5,73	1,89	2,96	7,54	25,59	26,93	15,62	10,77	1,89	0,27	0,27			
115	1,2	10,2	20,8	21,23	7,93	1,51	2,16	7,33	24,15	24,58	16,82	11,43	1,72	0,65	0,22			

Durchlässigkeiten der Bohrkerne siehe Tabelle 13.

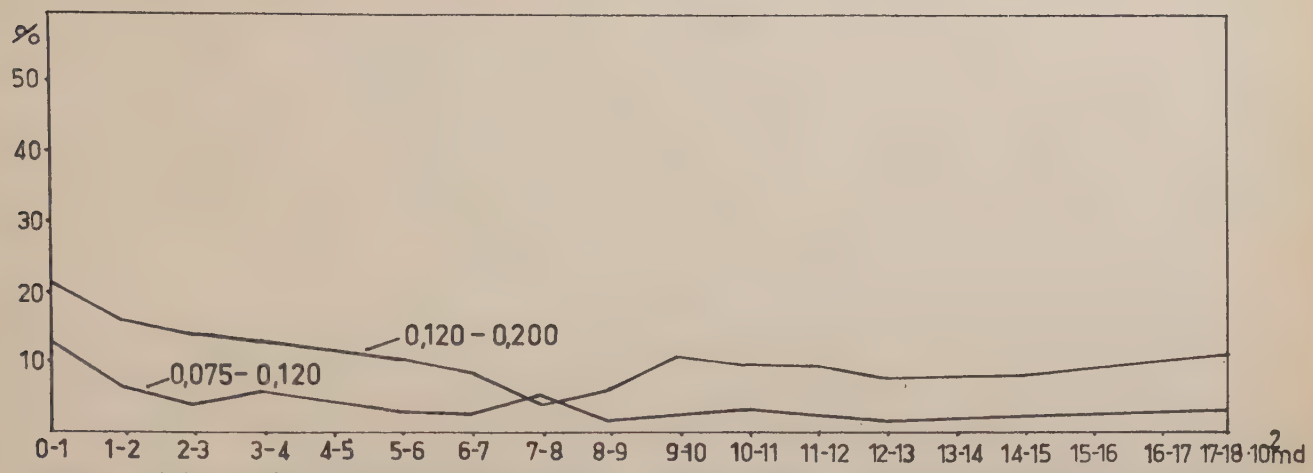


Abb.4 : Die mit zunehmender Durchlässigkeit abnehmenden Fraktionen 0,075 – 0,120 und 0,120 – 0,200 mm.

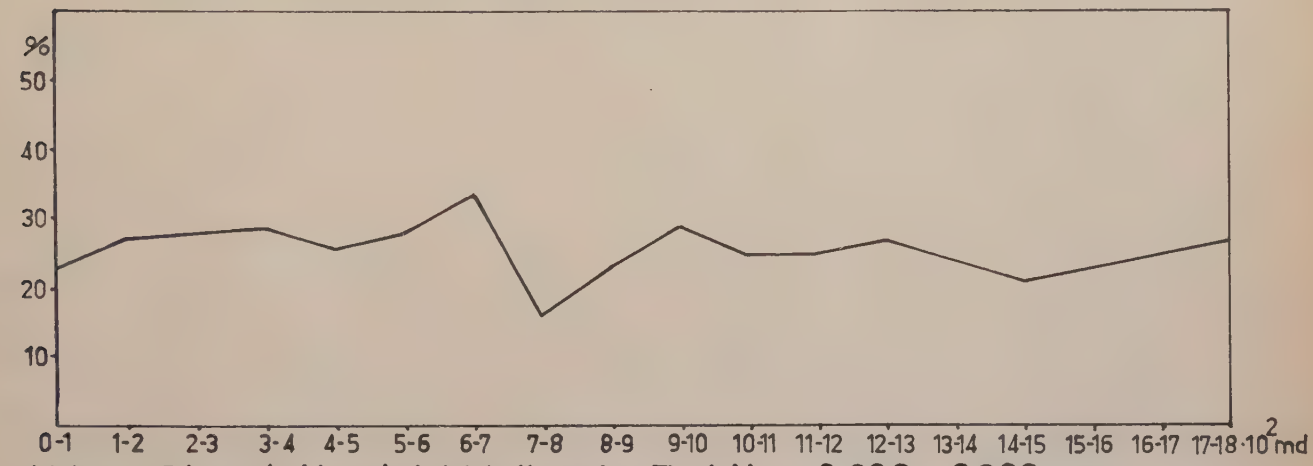


Abb. 5 : Die relativ gleichbleibende Fraktion 0,200 – 0,300 mm.

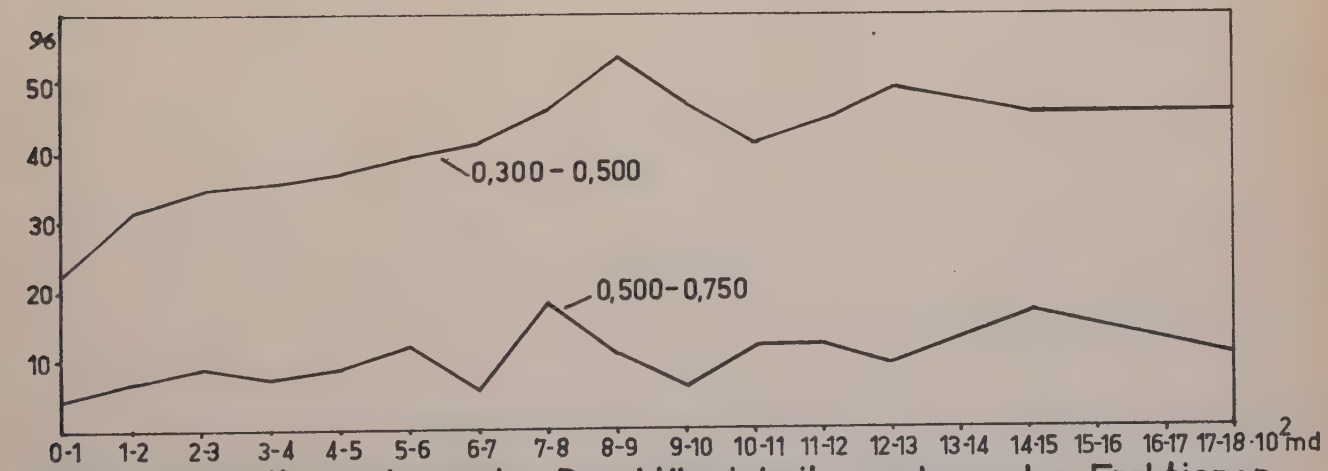


Abb. 6 : Die mit zunehmender Durchlässigkeit zunehmenden Fraktionen 0,300 – 0,500 und 0,500 – 0,750 mm.

Bei den Kornfraktionen a - d (also unter 0,20 mm) läßt sich feststellen, daß sie mit steigender Durchlässigkeit abnehmen. (Die Fraktionen c und d sind in Abb. 4 nochmals gesondert in absoluten Prozenten dargestellt worden.) Die nun folgende Fraktion e (0,20 - 0,30 mm) bleibt mit Einschränkung über den gesamten Durchlässigkeitsbereich nahezu konstant (Abb. 5). Die Fraktionen f und g (0,30 - 0,75 mm) dagegen werden mit zunehmender Permeabilität größer (Abb. 6). Die Fraktion h bildet mehr oder weniger uncharakteristisch den Abschluß. Daraus ist also zu folgern, daß bei zunehmender Durchlässigkeit erwartungsgemäß die feinen Fraktionen abnehmen, daß aber keineswegs die gröbsten Fraktionen ausschlaggebend für eine hohe Durchlässigkeit sind. Vielmehr ist der Bereich der mittleren Korngrößen von 0,30 bis 0,75 mm Durchmesser der Bereich, der neben einer Abnahme des Feinkorngehalts verantwortlich für große Permeabilitäten ist. Er macht etwa ab 600 md schon mehr als 40 % der Summe aller Fraktionen aus. Im Vergleich mit dieser Fraktion ist der Anstieg der Fraktion g wesentlich schwächer und von geringerer Bedeutung. Diese zunächst wenig einleuchtende Tatsache ist dadurch zu erklären, daß Porosität und noch mehr Permeabilität nicht ausschließlich von der Korngrößenverteilung abhängen, sondern daß ein ebenfalls sehr wichtiger Faktor die Art der Packung ist.
Bei der Betrachtung der Tabelle 11 fällt auf, daß es eine Reihe von Proben mit nahezu gleicher Korngrößenverteilung gibt, die jedoch in der Durchlässigkeit große Unterschiede aufweisen. Um diese Verhältnisse etwas besser durchleuchten zu können, werden in der Tabelle 13 einige Gruppen von Proben zusammengefaßt.
In der ersten Spalte werden die Proben aufgezählt, deren größte Fraktion mit über 40 % die von 0,30 -

Tabelle 12: Die Korngrößenverteilung in Prozent (obere Zeile) und Summenprozent (untere Zeile) und ihre Beziehung zur Durchlässigkeit.

Durchl.in 100 md	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	14-15	17-18
Zahl d. Pr.	45	14	13	10	5	5	3	1	3	5	4	3	1	2	1
Ton	7,85	5,11	3,91	3,73	4,25	3,87	3,25	5,17	1,93	2,77	3,82	3,56	4,16	2,95	1,20
<0,033	1,11	0,44	0,26	0,36	0,37	0,29	0,31	0,23	0,28	0,47	0,19	0,31	0,16	0,06	0,20
	8,96	5,55	4,17	4,09	4,62	4,16	3,56	5,40	2,21	3,24	4,01	3,87	4,32	3,01	1,40
>0,033	1,52	0,77	0,42	0,51	0,49	0,41	0,41	0,23	0,43	0,47	0,40	0,31	0,31	0,06	0,20
	10,48	6,32	4,59	4,60	5,11	4,57	3,97	5,63	2,64	3,71	4,41	4,18	4,63	3,07	1,60
>0,050	3,85	1,80	0,84	1,11	0,99	0,75	0,82	0,94	0,79	0,90	0,63	0,62	0,63	0,34	0,40
	14,33	8,12	5,43	5,71	6,10	5,32	4,79	6,57	3,43	4,61	5,04	4,80	5,26	3,41	2,00
>0,075	12,89	6,38	3,98	5,47	4,06	2,89	2,73	5,41	1,74	2,62	3,13	2,18	1,90	2,78	3,22
	27,22	14,50	9,41	11,18	10,16	8,21	7,52	11,98	5,17	7,23	8,17	6,98	7.16	6,19	5,22
>0,120	21,88	16,71	14,68	13,73	11,55	10,86	8,21	4,47	5,92	10,25	9,69	9,90	7,84	8,24	11,65
	49,10	31,21	24,09	24,91	21,71	19,07	15,73	16,45	11,09	17,48	17,86	16,88	15,00	14,43	16,87
>0,200	22,49	27,03	27,49	28,37	25,21	27,35	33,12	15,30	22,96	28,48	24,63	24,75	26,35	20,68	26,10
	71,59	58,24	51,58	53,28	46,92	46,42	48,85	31,75	34,05	45,96	42,49	41,63	41,35	35,11	42,97
>0,300	22,31	31,43	34,62	35,21	36,97	39,34	41,15	46,60	54,32	47,11	41,83	44,83	49,57	45,79	46,18
	93,90	89,67	86,20	88,49	83,89	85,67	90,00	78,35	88,37	93,07	84,32	86,46	90,92	80,90	89,15
>0,500	4,21	6,70	8,83	6,97	8,92	11,78	5,79	18,36	10,33	6,61	12,24	12,22	9,09	17,09	10,44
	98,11	96,37	95,03	95,46	92,81	97,54	95,70	96,71	98,70	99,68	96,56	98,68	100,01	97,99	99,59
>0,750	0,88	1,69	2,85	1,52	3,69	2,25	1,34	2,82	0,82	0,34	2,43	0,87		1,99	0,40
	98,99	98,06	97,88	96,98	96,50	99,79	97,04	99,53	99,52	100,02	98,99	99,55		99,98	99,99
>1,20	0,36	1,07	0,59	0,62	1,55	0,22	0,93	0,47	0,47		0,81	0,45			
	99,35	99,13	98,47	97,60	98,05	100,01	97,97	100,00	99,99		99,80	100,00			
>2,00	0,26	0,38	0,56	0,92	0,74		0,85				0,20				
	99,61	99,51	99,03	98,52	98,79		98,82				100,00				
>3,00	0,25	0,47	0,50	0,93	0,61		0,78								
	99,86	99,98	99,53	99,45	99,40		99,60								
>5,00	0,13		0,47	0,53	0,59		0,39								
	99,99		100,00	99,98	99,99		99,99								

Tabelle 13

Spalte I : Gleiches Korngrößenspektrum, größte Fraktion (>40 %) 0,30 - 0,50 mm Ø, zweitgrößte Fraktion (>20 %) 0,20 - 0,30 mm Ø.

Spalte II : Verschiedenes Korngrößenspektrum, größte Fraktion (beliebige Größe) 0,12 - 0,20 mm Ø.

Spalte III : Uncharakteristisches Korngrößenspektrum, keine Fraktion > 30 %.

I		II		III	
Nr.	D(md)	Nr.	D(md)	Nr.	D(md)
9	1729,29	1	13,28	2	3,03
16	1156,24	2	3,03	6	38,92
18	949,71	4	29,18	8	66,61
19	965,94	6	38,92	38	94,62
28	905,33	8	66,61	47	4,82
35	15,19	10	3,83	85	25,10
36	21,95	11	3,22	88	203,91
45	832,88	13	9,69	102	14,41
46	382,99	30	323,51	103	16,16
59	35,37	38	94,62	104	26,06
60	254,19	39	15,54	105	15,14
64	391,38	40	67,57	106	82,85
75	1004,09	41	117,49	107	54,44
95	622,42	42	70,28	108	17,04
96	967,33	43	80,90	109	59,29
		47	4,82	112	12,58
		48	75,52	113	158,30
Mittel: 642,29 md		49	11,85	114	23,46
		78	109,44	115	21,23
		107	54,44		
		108	17,04		
		114	23,46	Mittel: 54,58 md	
		115	21,23		

Mittel: 54,10 md

0,50 mm Ø, die zweitgrößte mit über 20 % die von 0,20 - 0,30 mm Ø ist, und die auch in den übrigen Fraktionen ein nahezu identisches Korngrößenspektrum haben. Es handelt sich hierbei um relativ gut sortierte Sandsteine, deren Durchlässigkeit im Mittel bei ca. 642 md liegt. Als zweite charakteristische Gruppe wurden alle Proben

mit einem Maximum von beliebiger Größe in der Fraktion von 0,120 - 0,20 mm zusammengefaßt. Hier beläuft sich der Mittelwert von allen Proben auf ca. 54 md. Als dritte Gruppe wurden die uncharakteristischen Proben zusammengestellt. Es handelt sich hier um Proben von schlecht sortierten Sandsteinen, deren größte Fraktion mit weniger als 30 % vertreten ist. In dieser Gruppe ergibt sich ebenfalls ein Mittelwert für die Durchlässigkeit von ca. 54 md. In allen drei Gruppen fällt die relativ große Streuung der Durchlässigkeitswerte um zwei Zehnerpotenzen auf.

In anbetracht dessen drängt sich nunmehr die Frage auf, wie eine derart große Streuung der Durchlässigkeiten bei nahezu identischem Korngrößenspektrum möglich ist. Diese Frage soll nunmehr an dem Beispiel der ersten Spalte erörtert werden. Diese erste Gruppe wurde deshalb ausgewählt, weil sich in ihr sowohl sehr niedrige als auch der überhaupt höchste Durchlässigkeitswert befinden.

Bei einer Betrachtung der Proben 9 und 35 als der beiden Extremata unter dem Binokular stellt sich heraus, daß die hochdurchlässige Probe Nr. 9 aus völlig entfärbtem Sand besteht, während die niedrigdurchlässigen Proben Nr. 35, 36 und 59 aus stark rot gefärbtem Sand stammen. Die Rotfärbung rührt daher, daß die einzelnen Quarzkörner mit einem Fe - Oxydhäutchen überzogen sind. In den Proben mit mittleren Durchlässigkeiten fehlt dieser Überzug teilweise, zum Teil sind die Häutchen sehr dünn. Es hat sich bei der Bearbeitung als unmöglich herausgestellt, etwa mit statistischen Mitteln die Zahl der weißen und der rot überzogenen Körner mit der Durchlässigkeit in Beziehung zu bringen. Die einzige Aussage, die im Zusammenhang mit der Rotfärbung gemacht werden kann, ist die, daß hohe Durchlässigkeiten von über 1000 md nur in entfärbten Sanden auftreten. Schon die

Proben Nr. 18, 19 und 28 mit ebenfalls noch recht hohen Permeabilitätswerten enthalten eine beträchtliche Anzahl "roter" Körner, womit selbstverständlich nur der Überzug von Fe - Oxyd gemeint ist. Es läßt sich also kein genau zu definierender Zusammenhang zwischen Fe-Überzug und Durchlässigkeit feststellen.
In einer weiteren Untersuchung sollte geklärt werden, ob etwa das Fe - Oxyd nicht nur das einzelne Korn als Häutchen umschließt, sondern ob vielmehr die Porenräume mit Fe - Oxyd ausgekleidet sind, wodurch sich zwangsläufig eine Verringerung der Permeabilität ergeben würde, während die Porosität kaum verändert würde.
Leider ist es aus technischen Gründen unmöglich, Durchlässigkeits- und Korngrößenbestimmungen und mikroskopische Analyse der Porengestalt an ein und derselben Probe vorzunehmen. Genau genommen könnte man nur in diesem Falle exakte Angaben über die Zusammenhänge machen. Es mußten also zu diesem Zwecke zwei Parallelproben entnommen werden. Leider waren die Entnahmepunkte Nr. 35 und 36 nicht mehr zugänglich, da sie in einer Baugrube lagen. So wurden die Proben Nr. 9 und zum Vergleich die Probe Nr. 59 entnommen. Es wurden mittels zweier kompakter Blechschachteln zwei ungestörte Proben entnommen, die nach Trocknung des Sandes mit einem Kunststoff-Gießharz ausgegossen wurden. Danach wurden von beiden Proben Schliffe angefertigt.
Beschreibung des Schliffs der Probe Nr. 9: Im Schliff läßt die Probe des entfärbten Sandes zunächst ein relativ lockeres Gefüge erkennen. Die Zwickel zwischen den einzelnen Körnern sind entweder frei von feinkörnigem Material, oder sie werden von feinen Körnern und Splittern ausgefüllt, wobei jedoch auch diese einen lockeren Verband haben. Die Durchlässigkeit wird dadurch kaum beeinträchtigt.

Abb. Nr. 7: Zeichnung eines Schliffes durch Probe Nr. 59 (Ausschnitt). Punktiert: Fe-Oxyd-Häutchen und Zwickelfüllungen.

- -

Beschreibung des Schliffes der Probe Nr. 59: Im Schliff dieser Probe (Abb. 7) erkennt man deutlich die dünnen Fe - Oxydüberzüge um die einzelnen Körner. In den Zwikkeln der offenen Poren, also an den Berührungsstellen der größeren Körner ist jedoch auch das feinkörnige Material durch und durch von Fe - Oxyd erfüllt, so daß die Durchlässigkeit stark beeinträchtigt wird, ohne die Porosität merklich zu beeinflussen. Obwohl neben den völlig dichten Porenzwickeln noch sehr viele offene Poren vorhanden sind, muß sich bei räumlicher Betrachtung eben doch eine starke Beeinträchtigung der Durchlässigkeit ergeben. Beide Proben, Nr. 9 und Nr. 59, haben nahezu die gleiche Korngrößenverteilung.

Der Grund für verschiedene Durchlässigkeitswerte bei gleicher Korngrößenverteilung liegt also zum größten Teil in dem verschiedenen Fe-Oxydgehalt der einzelnen Proben. Als ein weiterer Grund mag noch die verschiedene Packungsdichte eine Rolle spielen. Obwohl beide Faktoren zusammen einen entscheidenden Einfluß ausüben, ist es nicht möglich, diesen Einfluß zahlenmäßig zu erfassen und etwa rechnerische Zusammenhänge zwischen diesen Faktoren und der Durchlässigkeit zu finden.

In einer abschließenden Betrachtung kann folgendes gesagt werden: Statistisch gesehen treten die größte Durchlässigkeiten dann auf, wenn ein verhältnismäßig gut sortierter Sand vorliegt und wenn das Korngrößenmaximum in der Fraktion von 0,30 - 0,50 mm liegt. Es ist jedoch unmöglich, exakte Zusammenhänge für eine Einzelprobe anzugeben oder vorherzusagen, da noch zu viele andere Faktoren eine Rolle spielen, die nicht berechnet werden können.

Trotz gleichen Korngrößenspektrums treten große Schwankungen in der Durchlässigkeit auf. Diese Schwankungen sind zum Teil bedingt durch Fe-Oxyd-Überzüge um die einzelnen Körner, zum anderen Teil aber durch Ausfüllungen von Fe-Oxyd in den Zwickeln einzelner (geringe Beeinträchtigung) oder vieler (starke Beeinträchtigung) Porenräume.

Zum anderen Teil liegt die Ursache für die Durchlässigkeitsschwankungen in der Art der Kornpackung begründet. Es spielt eine große Rolle, ob der Sand in mikroskopischen Rhythmen abgelagert wurde, so daß eine gewisse Gradierung entsteht, oder ob ein Gemisch von großen und kleinen Körnern unsortiert sedimentiert wurde, wobei feinkörniges Material die Poren zwischen den gröberen Körnern verstopfen kann.

In all dem kommt zum Ausdruck, daß exakte Rückschlüsse von der Permeabilität auf die Korngrößenverteilung und umgekehrt nicht möglich sind. Man wird bei Untersuchungen, wie sie in dieser Arbeit angestellt worden sind, immer darauf angewiesen sein, beide Messungen in möglichst großer Zahl durchzuführen.

b) Bohrkerne

Der Zweck der Durchlässigkeitsmessungen an Bohrkernen war, Werte von einem geschlossenen vertikalen Profil zu bekommen, um aus Durchlässigkeit und Porosität Rückschlüsse auf das Speichervermögen des Buntsandsteins ziehen zu können. Leider konnte zu diesem Zweck keine der zahlreichen Tiefbohrungen verwendet werden, die innerhalb des Bearbeitungsgebietes liegen, da auch die neuesten Bohrungen entweder im Deckgebirge nicht gekernt wurden oder das Kernmaterial durch die Lagerung schon zerfallen ist. Auch der neu abgeteufte Warndtschacht konnte hierfür kein Material liefern, da dort das Gefrierverfahren angewandt wurde, um das Wasser aus dem Gebirge fernzuhalten. Infolge dieses Verfahrens werden aber Permeabilität und Porosität stark beeinträchtigt, so daß keine zuverlässigen Werte erhalten werden können. Aus diesen Gründen wurden die Proben aus der Bohrung Saarbrücken Süd, R $^{25}70\ 800$; H $^{54}53\ 780$, entnommen, die das Deckgebirge durchgehend gekernt hat. Für die Möglichkeit, aus dieser Bohrung Proben entnehmen zu können, danke ich an dieser Stelle Herrn Dr. G. KNEUPER, Leiter der Geologischen Abteilung der Saarbergwerke AG. Die Bohrung Saarbrücken Süd liegt in Luftlinie etwa 9 km vom E-Rande des Bearbeitungsgebietes entfernt. Aus dem Buntsandstein wurde alle 10 - 15 m ein Kernstück von ca. 15 cm Länge zur Bearbeitung entnommen,

bei rascherem Gesteinswechsel wurde unmittelbar unterhalb der Schichtgrenze die nächste Probe genommen. Aus dem Kernstück wurde mittels eines Kronenbohrers parallel zur Schichtung, das heißt senkrecht zum Kern, ein kleiner Meßkern herausgebohrt. Der Kronenbohrer hatte einen lichten Durchmesser von ca. 18 mm und erlaubte, Kerne bis zu 7 cm Länge herauszubohren. Er war so konstruiert, daß er in eine normale, stationäre Bohrmaschine eingespannt werden konnte. Im Naßverfahren wurden dann bei langsamer Tourenzahl die Kerne gebohrt. Wo es möglich war, wurde auch versucht, einen Meßkern senkrecht zur Schichtung zu bohren, also parallel zum Kern. Dies gelang jedoch nur in einem Fall, da selbst in größerer Teufe das Material noch so mürbe war, daß es bei einer Bohrung senkrecht zur Schichtung sofort auseinanderfiel.

Aus dem Rotliegenden konnten keine Meßkerne gebohrt werden, da die Beschaffenheit des Gesteins dies nicht zuließ. Das Rotliegende besteht aus konglomeratischen, stark tonigen und teilweise sehr verwürgten Sandsteinen, die schon beim Anfeuchten in einzelne Gerölle und Ton auseinanderfielen. Insgesamt machte das Gestein aber einen verhältnismäßig dichten Eindruck, da durch den starken Tongehalt bei entsprechender Bergfeuchte sicher kaum nutzbarer Porenraum vorhanden sein dürfte. Die durch die Lagerung inzwischen erfolgte Austrocknung hat eben bewirkt, daß infolge einer gewissen Alterung des Tons der Zusammenhalt verlorenging.

Die gebohrten Kerne wurden nun zunächst mit einer Gesteinssäge geradegeschnitten, so daß genau zylindrische Kerne zur Messung kamen. Die Kerne wurden nunmehr mit einer Schublehre nach Länge und Durchmesser genau gemessen. Um die Permeabilität der Sandsteine einwandfrei messen zu können, wurde eine zwar einfache, aber sehr wirksame Versuchsanordnung benutzt. Wie auf der

Abb. 2, Teil B dargestellt wurde, sind die Kerne zunächst mit einem dünnen Mantel aus Fensterkitt umgeben worden, danach wurden sie aufrecht in ein Becherglas gestellt, in welchem sich am Boden ein wenig angefeuchtete Watte befand. Beide, sowohl Watte als auch Kitt, dienten dazu, das nunmehr eingegossene Paraffin vom eigentlichen Kern fernzuhalten, da sich der Sandstein sonst in kürzester Zeit voll Paraffin saugt und damit für eine Messung unbrauchbar wird. Das Becherglas wurde vorher mit Vaseline eingefettet, um nach dem Erkalten das Herausnehmen des Kerns zu erleichtern. Nach dem Herausnehmen wird die wassergetränkte Watte von der Grundfläche entfernt. Nunmehr wird der mit Paraffin umgossene Kern in der in Abb. 2 gezeigten Weise zwischen die beiden Teilstücke eines Flansches eingespannt. Zur Abdichtung werden an beiden Seiten noch zwei Ringe aus Fensterkitt mit eingespannt, worauf der Flansch mittels vierer Flügelmuttern festgezogen wird. Beide Deckflächen des Kernzylinders sind nun zur Messung frei, während der Mantel fest eingegossen ist. Die beiden Enden des Flansches werden dann in der gezeigten Weise mit durchbohrten Korken verschlossen. Auf der einen Seite wird die Verbindung mit dem Gerät hergestellt und unter den Ausfluß auf der anderen Seite wird ein Meßgefäß gestellt. Auch hier ist ebenfalls sehr darauf zu achten, daß vor dem Verschließen der Flansch und die Rohr- und Schlauchwege luftfrei sind.

In der Tabelle 14 sind die Meßdaten der Durchlässigkeitsbestimmungen an den Bohrkernen und die Korngrößenverteilung aufgeführt. Die Werte unter "cm^3/min" sind Mittelwerte aus länger andauernden Messungen. Bei sehr geringem Durchfluß wurde bis zu 20 min gemessen. Da die Durchlässigkeit bei derartigen Proben weit geringer als bei Lockerproben ist, ist also auch die benötigte Wassermenge gering, so daß der Zulauf am Überlaufgefäß nur zu

tropfen braucht. Es erfolgt dann eine rasche Erwärmung auf gleichmäßige Zimmertemperatur, so daß die verhältnismäßig lange Meßzeit keine Erwärmung innerhalb der Probe und damit keine nachträgliche Ausscheidung von Luft innerhalb des Porenraums zur Folge hat. Bei den Proben Nr. 8, 14 und 19 war nach 15 min noch kein Wasseraustritt zu beobachten, und die Durchlässigkeit wurde mit 0,0 angegeben. Die Proben Nr. 4 und 5 stammen aus demselben Kernstück, das bei 42,50 m entnommen wurde. Während die Probe Nr. 5 aus dem homogenen Gesteinsverband gebohrt war, wurde bei der Probe Nr. 4 an einer Schichtgrenze gemessen. Die Kornverteilung unterscheidet sich nicht merklich von den Proben Nr. 6 und 7, so daß man annehmen muß, daß der große Durchlässigkeitswert der Probe Nr. 4 ausschließlich der besagten Schichtgrenze zugerechnet werden muß, also nicht reell ist. Aus diesem Grunde scheidet er für die Mittelberechnung aus. Aus den übrigen Proben ergibt sich ein Mittelwert von 7,105 md.

In seiner Veröffentlichung "Über die effektive und relative Durchlässigkeit poröser Ölspeichergesteine" diskutiert Chr. SCHMID (1956) die Anwendbarkeit des DARCY'schen Gesetzes. Dabei wird festgestellt, daß die ermittelten Durchlässigkeitswerte sehr oft mit dem benutzten Medium schwanken. Man bekommt also bei Luft, Wasser, Salzwasser verschiedener Konzentrationen und Öl trotz bester Versuchsbedingungen verschiedene Permeabilitätswerte. Dies wird dadurch erklärt, daß das DARCY-sche Gesetz ja in seiner einfachen Form, wie es auch in dieser Arbeit angewandt wurde, für laminare Strömungsverhältnisse gilt. Es ist klar, daß mit einer Änderung des Mediums auch eine Änderung der Viskositäten eintritt; dadurch ändert sich das Strömungsbild innerhalb des Porenraums. SCHMID schreibt nichts darüber, inwieweit diese Änderung des Fließvorgangs sich bereits

in der Viskositätsänderung manifestiert.
Über die Anwendbarkeit des DARCY-schen Gesetzes im Falle der vorliegenden Arbeit kann jedoch kein Zweifel bestehen, da sowohl das benutzte Medium im Versuch dasselbe war wie das, welches in der Natur durch den Sandstein fließt, als auch eine Mischung zweier Medien (Wasser und Luft) vermieden wurde. Bei einer derartigen Mischung hängt die Durchlässigkeit wesentlich vom Sättigungsgrad des Sandes mit dem einen oder anderen Medium ab. So fließt nach SCHMID zum Beispiel bei einem Vorhandensein von 70 % Öl und 30 % Wasser nur noch Öl durch das Gestein und bei einem Verhältnis 20 % Öl und 80 % Wasser nur noch Wasser. Es ist offensichtlich, daß bei einer Vermengung derartiger begrenzt mischbarer Flüssigkeiten entscheidende Veränderungen innerhalb der Porenräume vorgehen. Da derartige Mischungen in den Gemessenen Kernen aber nicht vorliegen, braucht auf diese Fragen keine Rücksicht genommen zu werden. Mischungen oder besser gleichzeitige Anwesenheit von Luft und Wasser in einem Grundwasserspeicher wird in der Hauptsache nur im Kapillarsaum auftreten, und in diesem Bereich ist eine Grundwasserströmung sowieso nicht zu beobachten.
In einer späteren Arbeit beschreibt Chr. SCHMID zusammen mit W. RÜHL (1957) die Zusammenhänge zwischen horizontaler und vertikaler Permeabilität. Durch die Verwendung von einheitlich zusammengesetzten und festen Sandsteinen aus dem Mittelrhät und den Angulatenschichten aus dem Raum von Hohne bei Celle aus etwa 1800 m Tiefe war es möglich, beide Permeabilitäten an einem Stück zu messen. Es wurden dazu kubische Gesteinsproben von 20 mm Kantenlänge benutzt. Einerseits bedingt durch die geringe Festigkeit des Buntsandsteins und andererseits infolge der einfachen Versuchsanordnung war es nicht möglich, an den hier bearbeiteten Proben ähnliche Messungen durchzuführen,

so daß also keine Vergleiche möglich sind. Eine Buntsandsteinprobe aus der Bohrung überstand die Hauptmessung und eventuell noch eine Kontrollmessung, aber schon beim Entfernen des umgossenen Paraffinmantels wurde der Kern oft beschädigt, wenn nicht sogar zerstört. Es gelang wie gesagt nur in einem Falle, einen Kern von 19 mm Länge zu bohren, der die Porositäts- und die vertikale Permeabilitätsmessung überstand. Meist löste sich der gebohrte Kern schon nach wenigen mm an einer minimalen Lettenlage oder sonstigen mikroskopischen Schichtfläche ab und war damit für die Messung verloren.
Im allgemeinen läßt sich aber mit Sicherheit sagen, daß die vertikale Durchlässigkeit sehr unregelmäßig schwankt. In homogeneren Bänken mag sie an die horizontale herankommen, in den meisten Fällen wird sie jedoch um Zehnerpotenzen kleiner sein. W. RÜHL und Chr. SCHMID geben für das Verhältnis der beiden Durchlässigkeiten mehrere Diagramme. Darin wird deutlich, daß in gleichmäßig körnigen Sandsteinen zum Beispiel des Dogger beta das Verhältnis nahezu 1 wird, daß jedoch im großen Mittel eine Streuung des Verhältnisses (D_v : D_h) von 0 bis 1 nahezu regellos auftritt.
RÜHL und SCHMID schreiben: "...In einer Kugelpackung isotropen, homodispersen Materials muß die vertikale Permeabilität gleich der horizontalen sein." und "..hiernach müßten also Unterschiede zwischen vertikaler und horizontaler Permeabilität beschränkt bleiben auf heterodisperse Sande, deren einzelne Komponenten nicht isotrop gleichmäßig vermischt sind, sondern ± lagenweise abwechseln." Diese Voraussetzungen sind beim Buntsandstein mit Sicherheit gegeben, und das einzelne Meßergebnis einer vertikalen Durchlässigkeit von 2,95 md ist derart zufällig, daß keine weiteren Schlüsse darauf aufgebaut werden dürfen. Der weitere Sinn einer verti-

kalen Durchlässigkeit wäre ja, ein Versickern des Wassers innerhalb der verschiedenen Schichten zu messen. Selbst wenn in einer verhältnismäßig homogen gepackten Schicht eine gewisse vertikale Durchlässigkeit gemessen werden kann, so wird sie doch durch die kleinste Lettenlage oder Tonschmitze schon mehr als aufgehoben. Beim weiteren Versickern des Wassers spielt demnach nicht ausschließlich eine vertikale Bewegung eine Rolle, sondern vielmehr hat man sich den Vorgang treppenartig vorzustellen in dem Sinne, daß das Wasser in vertikal porösen Lagen abwärtssickert, bis die nächste Lettenschicht erreicht ist. In dem Moment ist jedoch die horizontale Permeabilität weit wichtiger. Es ist nämlich die Frage, ob das innerhalb einer größeren Fläche herabsinkende Wasser nun horizontal in einem verhältnismäßig kleinen Querschnitt transportiert werden kann. Dieser Horizontaltransport kann nur kurz sein, aber er kann auch mehrere hundert Meter und mehr betragen, soweit nämlich, bis diese Lettenlage, die das Wasser gestaut hat, auskeilt.
Diese Vorstellungen gelten sowohl für die Grundwasserstockwerke im großen als auch für kleinste bis mikroskopische Bereiche. Für die Ergiebigkeit von Brunnen und Bohrungen ist die vertikale Durchlässigkeit ohne Bedeutung. Viel wichtiger ist, ob die horizontale Permeabilität groß genug ist, das im Porenraum vorhandene Wasser bei entsprechendem Druck schichtparallel an die Bohrung heranzuführen.

Tabelle 14: Daten der Durchlässigkeitsmessungen von Bohrkernen und Korngrößenverteilung

Nr.	(in m) Teufe	$\dot{V}$ cm³/min	°C	(cm) l	(cm) Ø	D(md)	Ton	jeweils > <0,033	0,033	0,05	0,075	0,12	0,20	0,30	0,50	0,75	1,20
1	19,15	0,520	20,2	4,32	1,79	4,998	2,84	0,38	0,38	0,57	1,70	4,15	18,11	54,52	13,58	3,40	0,19
2	23,50	0,168	17,6	1,58	1,79	0,630	3,48	0,46	0,46	0,93	1,39	6,03	18,56	45,48	17,17	4,18	0,93
3	28,00	0,685	18,6	1,90	1,81	2,945	6,90	0,59	1,18	4,71	24,75	37,71	15,32	5,89	0,59	0,59	
4	42,50	16,570	20,1	3,60	1,81	130,190	3,97	nicht gesiebt									
5	42,50	0,030	20,0	4,49	1,82	0,290	3,97	"	"								
6	52,90	0,169	19,4	3,41	1,82	12,650	4,38	0,41	0,81	1,22	4,88	19,12	30,92	27,67	7,32	2,44	0,41
7	52,90	0,444	17,1	3,34	1,80	3,518	4,55	0,38	0,77	0,77	3,46	18,47	41,57	25,40	2,69	1,15	
8	68,40	-	-	3,46	1,80	-	4,28	0,32	0,65	0,97	3,24	25,63	37,31	22,06	2,60	1,60	0,32
9	76,80	4,500	19,0	2,84	1,79	29,287	8,76	0,79	1,19	3,17	10,71	30,94	23,01	14,68	3,17	2,78	0,40
10	107,00	0,213	16,6	4,33	1,81	2,189	6,74	0,83	2,06	7,84	23,52	33,43	17,33	5,36	0,21		
11	116,40	2,713	16,0	2,23	1,77	15,312	3,14	0,50	0,50	1,01	2,03	8,11	26,88	41,58	10,65	4,56	
12	128,20	4,417	15,5	2,65	1,77	30,024	9,65	0,33	0,33	0,98	8,48	23,48	31,64	23,48	0,98		
13	132,60	2,900	16,0	2,73	1,89	19,374	15,76	0,29	0,57	0,86	2,57	8,85	25,98	39,41	3,14	0,29	
14	147,10	-	-	3,05	1,81	-	2,70	0,38	0,75	1,13	5,28	12,45	20,37	40,73	12,45	2,26	0,38
15	157,00	0,420	20,4	3,59	1,83	3,193	3,48	0,26	0,53	0,79	2,12	5,83	23,01	49,71	10,58	2,64	0,79
16	173,00	0,120	20,2	3,22	1,81	0,715	2,73	0,34	0,34	0,69	1,72	4,12	8,25	40,90	26,47	12,37	1,37
17	174,50	0,250	18,6	4,40	1,87	2,332	1,61	-	0,29	0,59	2,65	7,36	23,57	42,42	16,20	4,17	0,29
18	193,70	0,053	18,8	3,90	1,88	0,428	1,36	0,46	0,93	0,93	3,24	10,65	25,93	35,05	13,89	4,63	0,93
19	213,70	-	-	3,37	1,84	-	nicht gesiebt										

3. Porositätsmessungen

Für Vorratsberechnungen innerhalb eines Grundwasserspeichers sind neben Permeabilitätsuntersuchungen auch Porositätsmessungen ein unerläßlicher Faktor. Da solche Messungen nur an festen Gesteinsproben repräsentative Werte ergeben, wurden für die Untersuchung ebenfalls - z.T. dieselben - Kerne von der Bohrung Saarbrücken Süd benutzt.

Die Methode besteht darin, daß mit Hilfe verschiedener Wägungen das Gewicht des trockenen und das des mit einem geeigneten Tränkungsmittel getränkten Kerns gemessen werden. Nach Bestimmung des Spezifischen Gewichts des Tränkungsmittels läßt sich das Volumen der eingedrungenen Flüssigkeit und damit der Nutzporenraum sowohl absolut als auch prozentual ausrechnen.

Die Kerne wurden zunächst in Durchmesser und Länge gemessen, und daraus wurde das Volumen berechnet. Dann wurden die Kerne im Trockenschrank bei 105° C getrocknet, um zuverlässig alles in den Gesteinsporen enthaltene Wasser zu entfernen. Um beim Abkühlen der Kerne zu vermeiden, daß die Luftfeuchtigkeit sich wieder am oder im Kern niederschlägt, wurde jeder Kern aus dem Trockenschrank in einem Becherglas mit eingeschliffenem Deckel fest verschlossen.

Nach dem Abkühlen wurden mehrere Kerne gleichzeitig in einen Exsiccator gelegt. Dieser wurde mit einer Wasserstrahlpumpe evakuiert. Durch den entstandenen Unterdruck wurde danach das Tränkungsmittel CCl_4 in den Exsiccator geleitet, bis alle Kerne etwa einen halben Zentimeter bedeckt waren. Danach wurde abermals etwa 5 min evakuiert. Nun wurde jeder Kern einzeln möglichst schnell aus dem Tränkungsbad herausgenommen, leicht auf Fließpapier abgerollt und sofort in einem Becherglas mit dem eingeschliffenen Deckel verschlossen. Dies hat möglichst schnell zu geschehen, da sonst das Tränkungs-

Tabelle 15: Meßdaten der Porositätsmessungen an Bohrkernen

Nr.	Teufe	Ø	l	V	G_g	G_t	$G_g - G_t$	V_p	% V_p
1	19,15	1,79	4,32	10,87125	22,94590	19,19331	3,75559	2,56498	23,594
2	19,15	1,785	4,01	10,03483	21,75640	18,46400	3,29240	2,24963	22,408
3	23,50	1,79	4,34	10,92158	23,12490	19,65446	3,47044	2,37023	20,483
4	28,00	1,81	1,90	4,88878	10,22030	8,53177	1,68853	1,15323	23,589
5	31,50	1,82	2,14	5,56732	11,71990	9,66269	2,05621	1,40434	25,245
6	42,50	1,81	3,60	9,26295	19,92290	16,75382	3,16908	2,16441	23,366
7	42,50	1,82	4,49	11,68096	25,85890	21,96374	3,89516	2,66030	22,755
8	52,90	1,82	3,41	8,87129	19,17190	16,01634	3,11556	2,11517	24,249
9	52,90	1,80	3,34	8,49926	18,40420	15,45784	2,94636	2,01229	23,676
10	68,40	1,79	3,30	8,30442	19,22240	16,94550	2,27690	1,55507	18,297
11	76,80	1,79	2,84	7,14684	16,29990	14,27054	2,02936	1,38600	16,690
12	107,00	1,81	4,33	11,14127	23,81190	19,57114	4,24076	2,89634	25,996
13	116,40	1,77	2,23	5,48708	11,31890	9,13905	2,17985	1,48879	27,133
14	128,20	1,77	2,65	6,27446	13,08190	11,22787	1,85403	1,26626	20,181
15	128,20	1,79	1,56	3,92573	8,96090	7,98457	0,97633	0,66681	16,986
16	132,60	1,80	2,73	6,94700	14,04790	11,90335	2,14455	1,46468	21,048
17	147,10	1,68	1,97	4,36691	9,87390	8,50591	1,36799	0,93430	21,395
18	157,00	1,83	3,59	9,44248	20,28520	17,23920	3,04600	2,08035	22,032
19	173,00	1,81	3,22	8,28519	17,84940	15,74029	2,10911	1,44047	17,386
20	174,50	1,87	4,40	12,08441	27,45490	24,01444	3,44046	2,34975	19,444
21	193,70	1,88	3,90	10,82604	25,06025	22,53000	2,53025	1,72810	15,962
22	213,70	1,87	3,61	9,91471	22,36456	20,02365	2,34091	1,59879	16,125

Ø = Kerndurchmesser
l = Länge des Kerns
V = Volumen des Kerns

G_t = Gewicht des trockenen Kerns
G_g = Gewicht des getränkten Kerns
$G_g - G_t$ = Gewicht des eingedrungenen CCl_4

V_p = Porenvolumen
% V_p = Porenvolumen in Prozent

mittel zum Teil verdunstet und dadurch Fehler entstehen können. Auch darf man keineswegs den Kern auf Fließpapier lange hin und herrollen, sondern es genügt, wenn man schnell die beiden Grundflächen abtupft, dann die Mantelfläche einmal abrollt und nun sofort den Kern in dem Glasgefäß verschließt. Es ist wichtig, alle Proben in der gleichen Weise zu behandeln, damit die Fehlerbedingungen für alle Proben gleich sind.

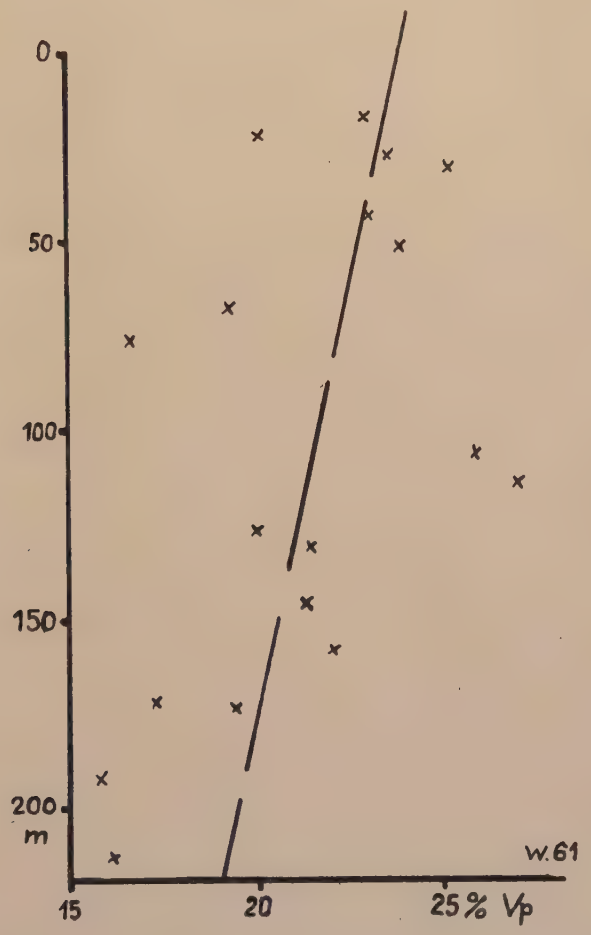


Abb. 8: Darstellung der Porosität des Buntsandsteins in Beziehung zur Teufe (Bohrung Saarbrücken Süd). Gestrichelte Linie = etwaiger Mittelwert

Vor der Tränkung hat man das Bruttogewicht des Kerns (mit Glas und Deckel) bestimmt. Wägt man nun den getränkten Kern ebenfalls mit Glas und Deckel, so erhält man in der Differenz der beiden Gewichte die Menge des eingedrungenen Tränkungsmittels. Dividiert man dieses Gewicht durch das Spezifische Gewicht, so erhält man direkt den Nutzporenraum des Gesteins. In der Tabelle 15 sind die Meßwerte der Porositätsmessungen aufgeführt. Statt der Bruttogewichte werden in dieser Tabelle nur die um das Gewicht des Glasgefäßes verminderten Gewichte aufgeführt, da man nur daraus den Prozentsatz des Porenvolumens ausrechnen kann.
Aus den Meßwerten (Tabelle 15) ist die Abb. 8 gezeichnet worden, aus der sich ersehen läßt, daß mit zunehmender Teufe das Porenvolumen abnimmt. Für diese Feststellung sind verständlicherweise keine Einzelmessungen zu verwenden, sondern man bedient sich dabei am zweckmäßigsten der Mittelwertskurve. Daraus läßt sich an der Bohrung Saarbrücken Süd für die ersten 200 m eine Abnahme der Porosität von 24 % auf etwa 19 % ableiten. Wie schon an anderer Stelle erwähnt, gelten diese Messungen nur für den verfestigten Buntsandstein. Die Lockerproben der oberflächennahen Horizonte dürften eine erheblich höhere Porosität aufweisen.

4. Niederschläge und Versickerung

Im Gebiete des Warndt liegt der jährliche Niederschlag im langjährigen Mittel bei 750 mm. In der folgenden Tabelle 16 sind einzelne Monatswerte aufgeführt und zwar für die Jahre 1951 bis 1958 und 1960, soweit sie in Monatsberichten über die Witterung im Saarland des Wetterdienstes des Saarlandes erreichbar waren.

Tabelle 16: Monatliche Niederschläge, gemessen an den Stationen Ludweiler und Berus

Station	Jahr	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Ludweiler	1951	66,1	-	69,4	55,2	36,7	162,7	49,0	70,9	74,2	9,0	110,5	27,7
Berus	"	65,5	-	81,5	84,9	48,3	196,3	53,8	72,6	81,0	8,9	135,5	37,4
Ludweiler	1952	97,9	55,7	90,8	33,9	27,1	33,1	31,4	70,2	108,1	102,1	111,6	141,3
Berus	"	104,3	50,8	107,8	43,5	30,8	43,6	17,7	61,9	122,0	138,6	137,3	176,8
Ludweiler	1953	7,2	45,8	1,4	31,6	36,5	118,1	171,6	31,8	55,7	44,5	17,7	30,0
Berus	"	10,3	42,5	4,3	37,5	31,0	78,6	166,0	33,5	50,6	48,3	16,8	25,1
Ludweiler	1954	60,1	41,5	34,0	39,1	35,1	30,5	77,5	142,5	145,7	81,6	56,7	92,7
Berus	"	57,2	33,0	33,6	29,7	34,9	39,5	67,8	110,8	139,0	79,0	50,3	89,5
Ludweiler	1955	109,5	78,1	38,7	13,7	64,2	83,4	64,2	27,8	67,2	45,9	21,2	126,1
Berus	"	116,9	75,7	33,8	16,1	83,8	87,6	74,1	20,0	79,0	60,0	24,4	159,8
Ludweiler	1956	75,4	12,1	37,7	85,3	122,3	62,9	39,9	104,4	74,5	62,9	46,2	33,9
Berus	"	87,4	13,4	56,2	100,2	109,4	78,6	100,0	115,7	85,9	79,3	46,3	58,1
Ludweiler	1957	42,1	119,0	65,7	9,9	35,7	112,3	60,9	80,5	159,9	43,8	38,0	70,7
Berus	"	54,8	122,9	95,9	12,4	37,7	83,0	69,1	77,6	157,5	55,6	39,9	66,3
Ludweiler	1958	107,4	152,1	36,4	45,7	189,2	79,6	83,6	150,5	29,2	53,4	61,6	120,6
Berus	"	84,2	126,1	29,0	41,5	177,6	80,8	80,6	137,1	37,9	59,7	52,9	99,2
Ludweiler	1960	72,7	92,4	42,4	36,6	36,0	59,6	135,7	143,1	49,7	103,7	115,9	69,2

Die voll unterstrichenen Zahlen stellen den niederschlagsreichsten Monat, die unterbrochen unterstrichenen den Monat mit dem zweithöchsten Niederschlag dar.

Schon in einer solch kurzen Tabelle ist deutlich zu erkennen, daß das Bearbeitungsgebiet weder in einen Bereich ausgesprochener Winterregen noch Sommerregen fällt. Vielmehr sind die Regenmaxima über das ganze Jahr verteilt. Die folgende Tabelle 17 zeigt den Verlauf der relativen Luftfeuchtigkeit in demselben Zeitraum.

Tabelle 17: Monatliches Mittel der relativen Luftfeuchtigkeit, gemessen an den Stationen Saarbrücken und Berus.

Station	Jahr	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Ø
Saarbr.	1951	83	-	75	69	70	78	75	79	81	80	83	88	78
Berus	"	91	-	79	72	72	82	73	78	81	78	89	92	81
Saarbr.	1952	87	84	76	65	67	65	60	71	80	83	86	85	76
Berus	"	94	90	79	61	69	67	62	69	84	87	93	93	79
Saarbr.	1953	86	83	66	68	64	77	79	73	75	85	85	87	77
Berus	"	92	89	60	69	66	79	81	71	74	85	89	92	79
Saarbr.	1954	79	78	74	68	64	69	74	81	83	87	85	87	77
Berus	"	84	84	76	67	65	73	76	81	84	89	87	92	80
Saarbr.	1955	85	82	71	66	71	74	78	78	82	83	84	88	79
Berus	"	89	87	75	62	71	75	80	75	82	85	87	94	80
Saarbr.	1956	85	77	74	74	71	79	79	80	85	88	86	87	80
Berus	"	90	81	74	73	70	83	83	83	87	92	89	93	83
Saarbr.	1957	84	78	74	64	63	67	73	77	83	84	83	87	76
Berus	"	90	84	76	64	66	68	78	79	87	86	86	90	80
Saarbr.	1958	84	84	78	72	77	72	74	82	85	90	92	84	81
Berus	"	90	89	78	70	79	77	79	84	81	88	94	89	83
Saarbr.	1959													72
Berus	"													76

Aus der Tabelle der Luftfeuchtigkeit entnimmt man zunächst, daß jeweils die Werte der Station Berus etwas höher liegen als die in Saarbrücken gemessenen. Die Frage muß offen bleiben, ob die höheren Werte von Berus etwa darauf zurückzuführen sein können, daß die Meßstation innerhalb einer Fläche mit normaler land- und forstwirtschaftlicher Nutzung liegt, während an der Meßstelle in Saarbrücken eine solche Pflanzenbedeckung fehlt. Aus dieser Annahme aber auf eine etwaige Höhe der Verdunstung schließen zu wollen, muß aufgegeben

werden, da ja bei einer solchen Betrachtung außer der Feuchtigkeit der Luft auch noch deren Temperatur sowie die herrschenden Windgeschwindigkeiten zu berücksichtigen wären. Die Verdunstung durch die Vegetation bleibt also nach wie vor einer der großen, zunächst noch nicht konkret faßbaren Faktoren der Hydrologie. Anzuregen wäre jedoch ein Versuch zur Herstellung geeigneter Meßbedingungen sowohl für die Versickerung in einem Gebiet mit Pflanzenbedeckung als auch zur annähernden Bestimmung der Verdunstung einer Vegetationsdecke.
Die folgende Tabelle 18 zeigt noch einmal die Niederschläge wie in Tabelle 16, diesmal aber die Jahresniederschläge mit Prozentangaben des langjährigen Mittels.

Tabelle 18: Jahresniederschläge der Stationen Ludweiler, Berus und Völklingen mit Prozentangabe des langjährigen Mittels von 750 mm (= 100 %)

Jahr	Ludweiler		Berus		Völklingen	
	mm	%	mm	%	mm	%
1951	(797,9	106,3	944,4	126,0)		
1952	903,2	120,4	1035,1	138,0		
1953	591,9	78,9	544,5	72,6		
1954	836,7	111,6	764,3	101,9		
1955	740,0	98,7	831,2	110,8		
1956	757,5	101,0	930,5	124,1	695,0	92,7
1957	838,5	111,8	872,1	116,3	776,0	103,5
1958	1109,3	147,9	1006,6	134,2	1009,0	134,6
1959	691,0	92,2			518,0	69,1

Die Werte in Klammern für 1951 enthalten einen Fehler: Der Niederschlagswert für Februar war nicht zugänglich. Aus den übrigen 11 Monaten wurde das Mittel gebildet und als 12. Monat addiert.

Deutlich ist zu sehen, daß die Niederschläge in diesem Zeitraum zum größten Teil über dem langjährigen Mittel von 750 mm lagen. (Der Wert von 750 mm ist aus den Jahren 1891 bis 1930 errechnet.) Selbst das extrem trockene

Jahr 1959 hat an der Station Ludweiler noch einen Niederschlag von 92,2 % des Normalwertes erbracht. Wenn daher auf den folgenden Seiten ein mittlerer Niederschlag von 750 mm zugrundegelegt wird, so dürfte der Wert schon eine erhebliche Sicherheit enthalten.
Was nun die Versickerung anbetrifft, so ist jahrzehntelang mit der Faustregel gearbeitet worden: Niederschlag = Abfluß, Versickerung und Verdunstung zu je gleichen Teilen, d.h. je 1/3 des Niederschlags. Daß diese Faustregel nicht nur ungenau sondern sogar falsch ist, konnte durch Versickerungsmessungen in den letzten Jahren nachgewiesen werden. Herr Dr. R. SCHÖMER von der Bergschule Saarbrücken, dem ich an dieser Stelle nochmals meinen herzlichsten Dank aussprechen möchte, hat im Warndt und an anderen Stellen Versickerungsbeobachtungen gemacht, die er mir freundlicherweise zur Verfügung stellte. In der folgenden Tabelle 19 sind Versickerungswerte für das Jahr 1960 zusammengestellt.

Tabelle 19: Niederschlags-, Oberflächenabfluß- und Versickerungswerte des Jahres 1960, gemessen am Wasserwerk Lauterbachtal der Saarbergwerke (nach R. SCHÖMER).

Monat	Niederschlag in mm	Oberflächenabfl. in mm	Versickerung in mm	Versickerung in % d. Nd.
J	72,7	0,0	73,5	101,0
F	92,4	0,0	76,0	82,2
M	42,4	0,0	31,3	73,7
A	36,6	0,0	23,8	65,0
M	36,0	0,0	0,0	0,0
J	59,6	0,0	0,11	0,18
J	135,7	0,0	10,8	7,9
A	143,1	0,98	72,3	50,5
S	49,7	0,06	30,5	31,3
O	103,7	0,0	53,5	51,6
N	150,9	0,0	81,3	70,2
D	69,2	0,0	45,1	65,2

Daraus ergibt sich eine mittlere Versickerungsrate von 50,1 % in Buntsandsteinboden, ein Wert, der für die späteren Vorratsberechnungen Verwendung findet.

In dieser Tabelle (19) findet sich auch ein Anhaltswert für die Verdunstung, die im allgemeinen sehr schwer faßbar ist. Ein Oberflächenabfluß ist nur ganz minimal zu beobachten gewesen. Dies bedeutet jedoch, daß die Differenz zwischen dem Abfluß und der Versickerung verdunstet sein muß. Die Versickerungszahlen liegen in den Wintermonaten besonders hoch, dagegen sinkt die Rate im Sommer weit ab. Infolge der im Sommer größeren Verdunstung versickert also nur ein ganz geringer Prozentsatz, während in den kalten und feuchten Wintermonaten weit mehr als die Hälfte in die Grundwasserspeicher versickert. Parallel mit dem Einfluß der Temperatur und der Luftfeuchtigkeit geht auch die Vegetationsperiode mit ihrer erheblichen Beeinflussung der Verdunstung.

Die jahreszeitliche Verteilung der Niederschläge ist für die Betrachtung der Niederschläge und des Grundwasserhaushalts von großer Bedeutung. Fielen nämlich die meisten Niederschläge im Sommer, d.h. in der Zeit der größten Verdunstung, so wäre die Ausbeute in Hinsicht auf den Grundwasservorrat wahrscheinlich wesentlich geringer, als bei gleicher Niederschlagsmenge, die aber im Winter fällt.

Nach A.MÜLLER (1958) sollen die Hauptniederschläge im Gebiete des Warndt im Herbst fallen. Nach den Werten, die in der Tabelle 16 zusammengestellt sind, kann dies nicht ausdrücklich bestätigt aber auch nicht widerlegt werden, da der Beobachtungszeitraum zu kurz ist. Sicher läßt sich aber soviel sagen, daß die Differenz zwischen Winter-, Frühlings-, Sommer- und Herbstniederschlägen zwar in einem Jahr recht beträchtlich sein kann, daß aber im nächsten Jahr schon ein ganz anderes Verteilungsbild der Niederschläge vorliegen kann.

Als Beispiel seien hier die Jahre 1955 - 1957 angeführt. Während im Jahre 1955 die beiden niederschlagsreichsten Monate Januar und Dezember waren, sind es im Jahre 1956

die Monate Mai und August mit ebenfalls noch beachtlichen Werten im April und Juni. Das Jahr 1957 zeigt schon wieder ein völlig anderes Bild. Die meisten Niederschläge fielen hier in den Monaten Februar und September, wobei März, Juni und August ebenfalls recht niederschlagsreich waren. Im langjährigen Mittel mag der Herbst wohl die niederschlagsreichste Jahreszeit sein, doch dürfte der Vorsprung vor den anderen Jahreszeiten nicht groß sein. Auf alle Fälle kann von dieser Aussage keine allgemein gültige Regel abgeleitet werden.

5. Quellen und Wasserläufe.

Neben den beiden Hauptwasserläufen Bist und Rossel gibt es nur einige Bäche, die das ganze Jahr hindurch eine nennenswerte Wasserführung haben. Als Nebenbäche der Rossel sind dies (linksseitig von S nach N): der St. Nicolausbach mit dem Emmersweiler Bach und der Lauterbach mit dem Krämbach und einem linken Nebenbach, der etwa in Höhe der Straßenabzweigung zum Warndtweiher einmündet. Als Nebenbach der Bist kommt praktisch nur der Werbelner Bach in Betracht, der vom Warndtweiher herkommt. Das sumpfige Gebiet der Niederung bei Bisten hat keinen nennenswerten direkten Abfluß zur Bist, vielmehr dürfte hier das Grundwasser unmittelbar in den Bachlauf eintreten. Die anderen Bäche, die hauptsächlich im Einzugsgebiet der Bist in die Karte der Wasserläufe (Anlage Nr. 6) eingezeichnet sind, führen nur in Zeiten reicher Niederschläge Wasser. In der übrigen Zeit sind sie entweder vollkommen trocken oder aber es tritt nur so wenig Wasser aus, daß es in einer durchlässigeren Schicht etwas weiter bachabwärts wieder versickert.

Eine genaue Beschreibung der Wasserführung der Warndtbäche war nicht möglich, da einerseits keine Meßpegel bestehen und es andererseits für einen einzelnen unmöglich ist, solche Messungen selbst zu improvisieren. Für die Bist und in noch stärkerem Maße für die Rossel gilt jedoch, daß die fließende Menge Wasser in keinem Falle eine natürliche, aus Quellen gespeiste Wassermenge ist. Beide Bäche führen einen großen Prozentsatz Industriewasser, welches hauptsächlich von der französischen Seite kommt. Dies ist zum Teil Wasser, das aus Schachtanlagen in den Bach gepumpt wird, zum anderen Teil handelt es sich um Abwasser von Gemeinden und Industrieanlagen, welches nicht aus Quellen, sondern aus Bohrungen gewonnen wird. Eine Abflußmessung in diesen Bächen könnte also niemals ein wahres Bild des oberflächlichen Abflusses der Niederschläge geben.

6. Vorratsberechnung und Vorschlag einer neuen Gewinnungsmöglichkeit.

Eine Vorratsberechnung muß sich im wesentlichen auf vier verschiedene Gesichtspunkte stützen:

1. Niederschläge,
2. Versickerungsrate,
3. Speicherfähigkeit des Gesteins (Porosität im Sinne von Nutzporenraum) und
4. unterirdische Zu- und Abflüsse.

Zu 1. Niederschläge: Im langjährigen Mittel fallen auf das Gebiet des Warndt jährlich 750 mm Niederschlag (A. MÜLLER, 1958).

Zu 2. Versickerungsrate: Aus den Versickerungsmessungen, die mir Herr Dr. R. SCHÖMER von der Saarbergwerke AG freundlicherweise zur Verfügung stellte, ergibt sich ein Jahresmittel von 52,06 % oder rund 50 % des Niederschlags. Der oberflächliche Abfluß ist in demselben

Versuchsgang ebenfalls gemessen worden. Es ergab sich jedoch nur in wenigen Monaten ein geringer Abfluß von maximal 1 mm. Daraus ist also zu folgern, daß der Buntsandsteinboden infolge seiner grobkörnigen Beschaffenheit gut durchlüftet ist, was eine starke Verdunstung begünstigt. In dem regenreichen Monat Juli 1960 ist nahezu der gesamte Niederschlag wieder verdunstet, während dernormale Monat Januar sogar eine höhere Versickerungsquote hat als Niederschlag gefallen ist. Das ist auf schmelzende Schneereste zurückzuführen, wobei aber die Verdunstung minimal gewesen sein muß.

Zur 3. Speicherfähigkeit des Gesteins: Der Nutzporenraum der tieferen Buntsandsteinschichten beträgt im Mittel 21,28 %, die beiden Extremwerte sind 27,133 % bzw. 15,962 %. Wenn hier für die Vorratsberechnung eine Porosität von 20 % zugrundegelegt werden soll, dann ist dieser Wert sicher nicht zu hoch gegriffen, da die Porosität mit der Annäherung an die Erdoberfläche noch ansteigt, wie aus dem Bohrprofil (Tabelle 15) zu ersehen ist und wie man aus den weit höheren Durchlässigkeiten der Lockerproben schließen kann (z.B. Tabelle 11).

Zu 4. Unterirdische Zu- und Abflüsse: Der von allen am schwierigsten zu erfassende Punkt ist die Betrachtung der Zu- und Abflüsse unter der Erdoberfläche. Direkte Messungen liegen nicht vor und konnten auch im Rahmen dieser Arbeit nicht durchgeführt werden. Mögliche Meßmethoden bestehen darin, daß man eine Reihe von Untersuchungsbohrungen dazu benutzt, Geschwindigkeit und Richtung des Grundwasserstromes in verschiedenen Horizonten zu messen. In einen Grundwasserhorizont wird ein Indikator in Form geringer Mengen radioaktiver Isotope oder eines ungefährlichen, leicht nachweisbaren Farbstoffes eingebracht und die Zeit gemessen, bis dieser Stoff in den benachbarten Bohrungen nachweisbar wird. Diese Verfahren sind jedoch nicht von einer Einzelperson

durchzuführen, selbst wenn vorhandene Bohrlöcher hätten benutzt werden können. Für die Betrachtung der unterirdischen Fließbewegungen muß also die Karte der Basis des Buntsandsteins (Anlage 2) herangezogen werden, da man daraus etwaige Fließrichtungen aus dem Gefälle der Buntsandsteinbasis ablesen kann.
Bei einer derartigen Betrachtung ergeben sich augenfällig zwei verschiedene Bereiche. Einmal der Bereich des Bist-Tales, der offensichtlich allseitig von relativen Hochlagen der Buntsandsteinbasis umschlossen wird. Der zweite Bereich liegt südöstlich des Lauterbachtales. (SE der Linie Ludweiler - Lauterbach) Als Hauptspeicher kommt hier wohl das Tief NE Karlsbrunn in Frage, in dem sich die Buntsandsteinbasis bis auf mindestens - 20 m absenkt. Dieses Becken ist nach nahezu allen Richtungen von Hochlagen eingeschlossen. Lediglich der SW und der SE machen eine Ausnahme. Im SW ist aber immerhin der tiefste Punkt der Umrahmung noch + 80 m hoch, während im SE der tiefste Punkt der Umrandung nur bei + 20 m liegt. Da gerade in diesem Bereich die Bohrungen recht spärlich sind, ist der Tiefenlinienverlauf nicht ganz gesichert. Nach Dr. R. SCHÖMER ist auf der französischen Seite der Rossel etwa in Höhe der Bohrung Nr. 16 eine Wasserbohrung niedergebracht worden, welche die Buntsandsteinbasis bereits bei + 140 m angetroffen haben soll. In jedem Falle ist jedoch auch dieser SE - Abschluß des Buntsandsteinbeckens gegeben. Im ungünstigsten Falle, nämlich bei einer Erhebung der Basisbarriere auf nur + 20 m, ergibt sich aber immer noch ein Speicher von rund 10 Millionen m^3 Buntsandstein oder - bei einer angenommenen Porosität von 20 % - ein Wasservorrat von 2,0 Millionen m^3 Wasser.
Topographisch gesehen ist die günstigste Gewinnungsmöglichkeit das Emmersweiler Tal (Anlage Nr. 6), welches sich von der Gemeinde Emmersweiler bis etwa in die Mitte zwischen den Bohrungen Nr. 32 und 34 erstreckt. Seine Talsohle liegt durchweg nicht höher als etwa 210 m über NN. Bei Ansatzpunkten in dieser Höhe ergibt sich eine

durchschnittliche Teufe von 200 m (= ± 0) für den genannten Speicherhorizont.
Inwieweit die höheren Schichten des Buntsandsteins für sich abgeschlossene Wasserstauer bilden, läßt sich nur schwer sagen. Sicher ist jedenfalls, daß lokal begrenzt verschiedene Speicherhorizonte ausgebildet sind. In den Bohrungen Nr. 21 und 22 (Geislautern 4 und 5) sind z.B. bei 19 m und 47,5 m bzw. 29 m und 47 m "starke Quellen" im Schichtenverzeichnis aufgeführt worden. Es ist also wahrscheinlich, daß in Abständen von 20 - 40 m an lokal ausgebildeten Tonschichten das von oben herabsickernde Wasser gestaut wird. Welche derartigen Horizonte im Emmersweiler Tal zu erwarten sind, läßt sich nicht vorhersagen.
Sicher ist, daß der beschriebene Träger an der Basis des Buntsandsteins keine weiteren Abflußmöglichkeiten hat, und daß er daher für die Förderungskalkulation ein sicherer Faktor ist.
Unter Berücksichtigung der Wasserscheiden der Basis des Buntsandsteins ergibt sich für diesen Förderhorizont ein Einzugsgebiet von etwa 12 km^2. Bei einem Einzugsgebiet dieser Größe, einem mittleren Jahresniederschlag von 750 mm, einem Versickerungsanteil von 50 % und einer Porosität von 20 % ergibt sich eine tägliche Ergänzung von mindestens 25 000 m^3. Für eine derartige Förderung würden 5 - 6 Bohrungen ausreichend sein. Eine Schädigung der Anlieger, z.B. Wald- und Forstwirtschaft sowie Landwirtschaft ist bei einer derart großen Tiefe nicht zu befürchten. Inwieweit eine zusätzliche Förderung aus höher gelegenen Horizonten möglich und zulässig sein würde, kann vorerst nicht entschieden werden.
Ob eine Förderung von Trinkwasser aus so großen Tiefen wirtschaftlich vorgenommen werden kann, müßte Gegenstand einer betriebswirtschaftlichen Kalkulation sein, die aber nicht im Sinne dieser Arbeit sein kann.

V. Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurden die geohydrologischen Verhältnisse im Warndt erkundet.
Zunächst konnte der Beweis erbracht werden, daß die Faltung des Karbonsattels (Saarbrücker Sattel) nicht mit der Wende Unter-/Oberrotliegendes abgeschlossen war, sondern daß sie vielmehr bis in die Buntsandsteinzeit hinein andauerte.
Insgesamt 115 Bodenproben wurden auf Durchlässigkeit und Korngrößenverteilung untersucht. Dabei konnten Zusammenhänge zwischen Permeabilität und Korngrößenverteilung nachgewiesen werden.
Die durchschnittliche Porosität der Buntsandsteinschichten wurde mit ca. 20 % bestimmt. In 2 Anlagen (Nr. 1 und 2) wurden Tiefenlinienpläne der Basis des Karbondeckgebirges und der Basis des Buntsandsteins angefertigt. In vier Profilschnitten (Anlagen Nr. 4 und 5) wurde die Lagerung des Deckgebirges dargestellt. In einer gesonderten Karte (Anlage Nr. 3) wurden die Mächtigkeiten des gesamten Deckgebirges dargestellt. Die Bachläufe im Warndt und die Wasserversorgung der Gemeinden wurden in Anlage Nr. 6 gezeichnet.
Nach Vorratsberechnungen wurde das Emmersweiler Tal als neues Fördergebiet mit einer zu erwartenden Förderung von mindestens 25 000 m^3 pro Tag vorgeschlagen.

Literaturverzeichnis
==========

DEUTSCHER NORMENAUSSCHUSS: Die Deutsche Normung 1917 bis 1957

DRUMM, R. Die geologischen Grundlagen der Wasserversorgung im Saargebiet Selbstverlag 1933

HOUK, I.E. Irrigation Engineering, Bd. I und II, New York, 1956

IMBEAUX, E. Hydrogéologie, Paris 1930

JAEGER, Ch. Technische Hydraulik, Basel 1949

KELLER, R. Der mittlere Niederschlag in den Flußgebieten der Bundesrepublik Deutschland. Bundesanst. f. Landeskunde, Remagen 1958

KOEHNE, W. Grundwasserkunde, Stuttgart 1948

KRUMBEIN, W.C. &PETTIJOHN, J.F. Manual of Sedimentary Petrography New York 1938

MATTHES, C. & THEWS, J.-D. Erfahrungen bei der Hessischen hydrogeologischen Spezialkartierung 1:25 000 in den Jahren 1957/58 Notizblatt des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung, Band 87, Wiesbaden 1959

MEINZER, O.E. Hydrology, New York 1942

MÜLLER, A. Die Saar. Hydrographie und Wasserwirtschaft. Dissertation der Universität Bonn 1958

MÜLLER, E.M. Der Buntsandstein zwischen Vogesen und Trierer Bucht. Diplomarbeit der Universität des Saarlandes 1952

- " - Die Ausbildung und Mächtigkeit der Zwischenschichten im Saar-Lothringischen Raum. Annales universitatis saraviensis III/1-2, 1954

- " - Beiträge zur Kenntnis der Stratigraphie und Paläogeographie des Oberen Buntsandsteins im Saar-Lothringischen Raum. Ann. univ. sarav. III/3, 1954

- " - & SCHROEDER, E. Zur Gliederung und Altersstellung des linksrheinischen Buntsandsteins. Notizbl. d. Hess. L.A. f. Bodenf., Bd. 88, Wiesbaden 1960

PETTIJOHN, F.J. Sedimentary Rocks. New York 1949

PFALZ, R. Grundgewässerkunde, Halle 1951

RÜHL, W. & SCHMID, Chr. — Über das Verhältnis der vertikalen zur horizontalen Permeabilität von Sandsteinen. Geologisches Jahrbuch, Bd. 74, 1957 (Bentz - Festschrift)

SCHLICKER, J. — Die Aufschlüsse der staatlichen Tiefbohrungen im Saarrevier etc. Saarbrücken, 1906

- " - — Die Aufschlüsse d. staatl. Tiefbohrungen im Saarrevier etc. Saarbrücken 1920

SCHMID, Chr. — Über die effektive und relative Durchlässigkeit poröser Ölspeichergesteine. Erdöl und Kohle, Bd. 9, Hamburg 1956

SCHOELLER, H. — Hydrogéologie. Paris 1955

SCHULZE, E. & MUHS, H. — Bodenuntersuchungen für Ingenieurbauten 1950

SCHWILLE, P. — Natriumhydrogenkarbonat- und NaCl-Wässer im tieferen Untergrund des Mainzer Beckens. Notizbl. d. Hess. L.A. f. Bodenf., Bd. 81 Wiesbaden 1953

SEMMLER, W. — Quellen und Grundwasser im Deckgebirge des Saarbrücker Steinkohlenvorkommens. Zeitschrift für das Berg-, Hütten- und Salinenwesen im Deutschen Reich. Bd. 88, Heft 9, 1940

STAESCHE, K. — Der Buntsandstein des Saarlandes. Festschrift 55. Tagg. d. Oberrh- Geol. Vereinigung Saarbrücken 1927

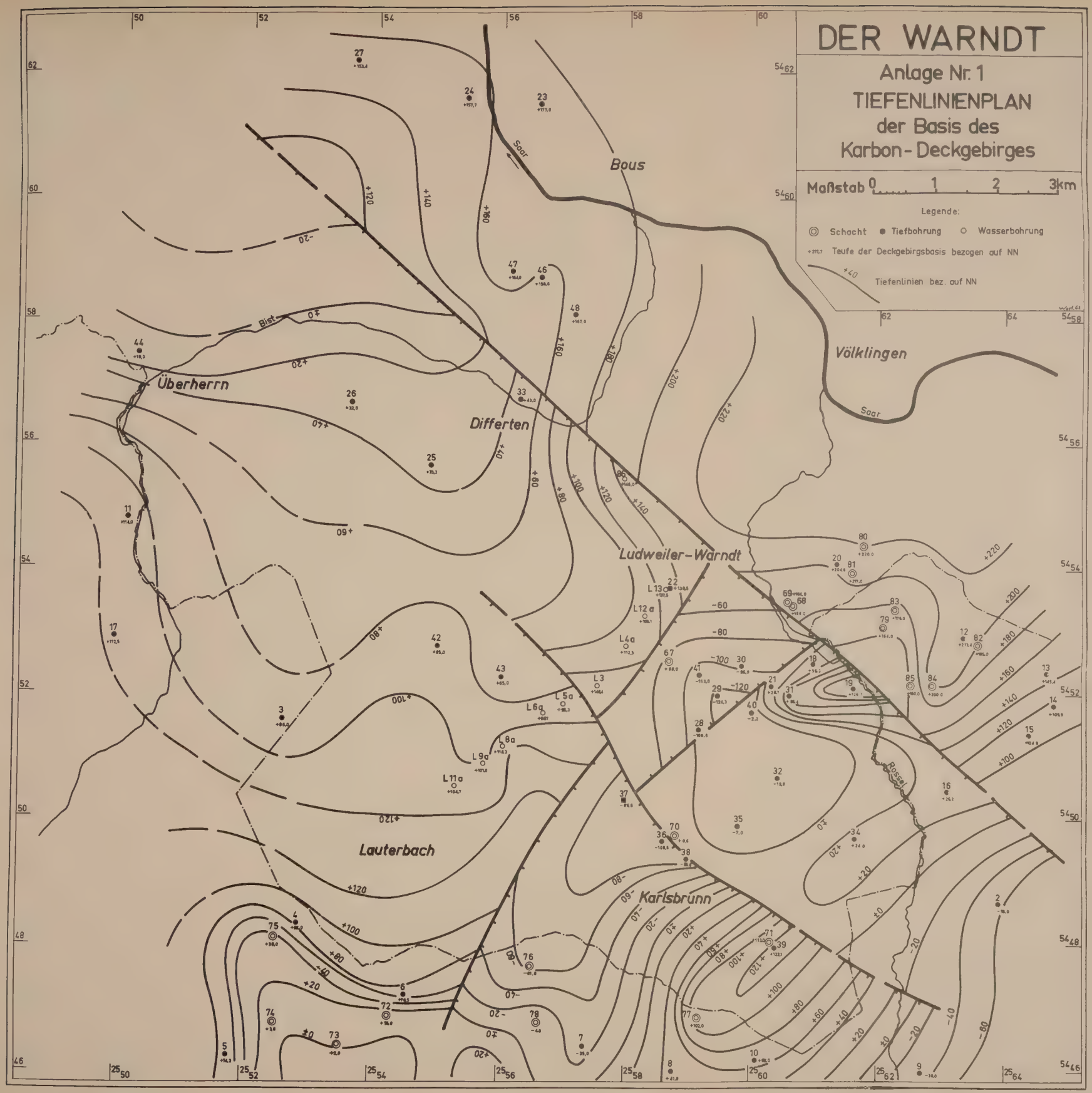
THEOBALD, M. — Stratigraphie et Paléogéographie du Buntsandstein dans le SW de l'Allemagne et le NE de la France. Bull.Soc.Hist.Nat.Moselle, 26 cahier

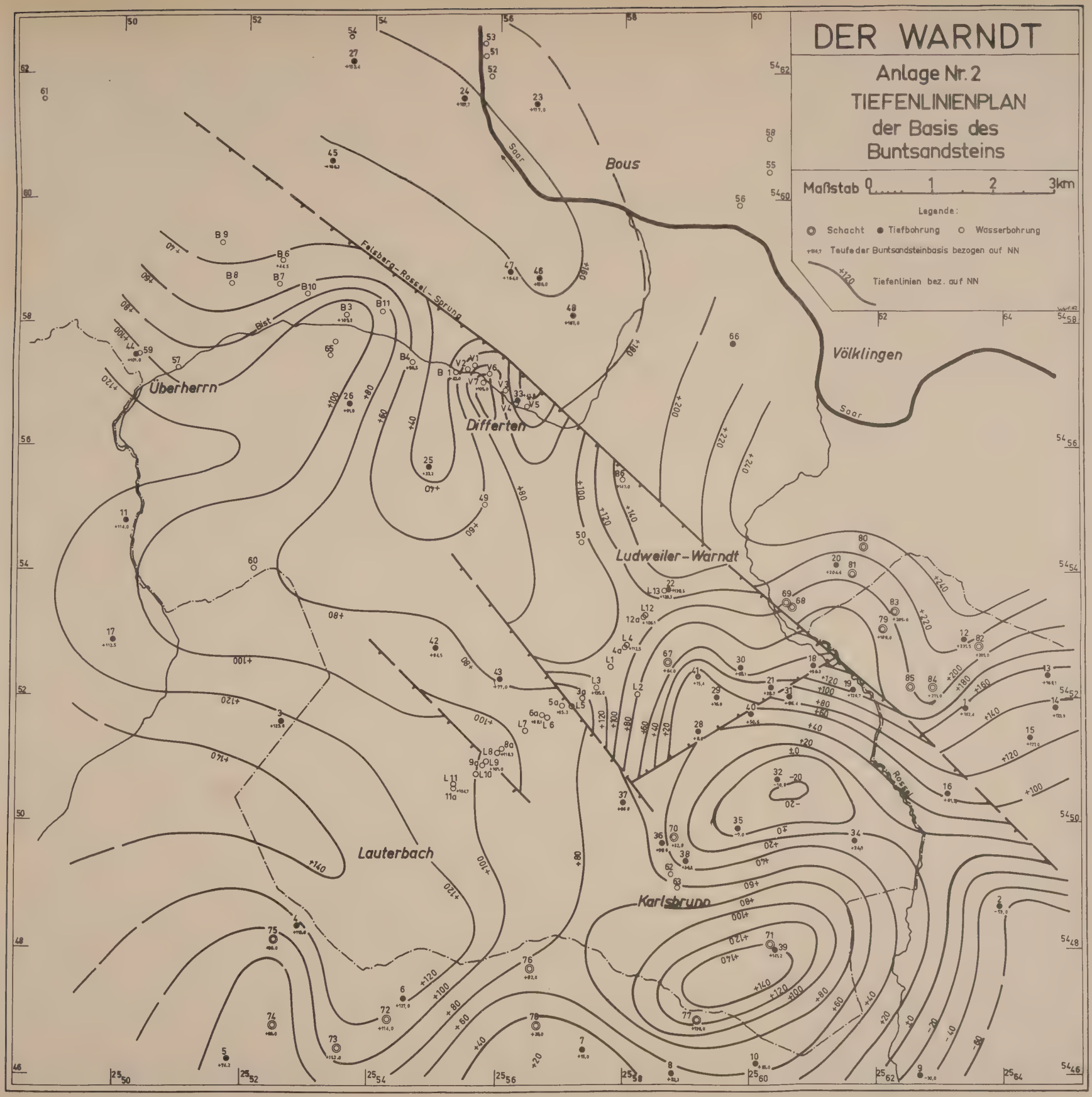
v. WERVEKE, L. — Erläuterungen der geologischen Blätter 1 : 25 000: Forbach, St. Avold, Ludweiler und Saarbrücken.

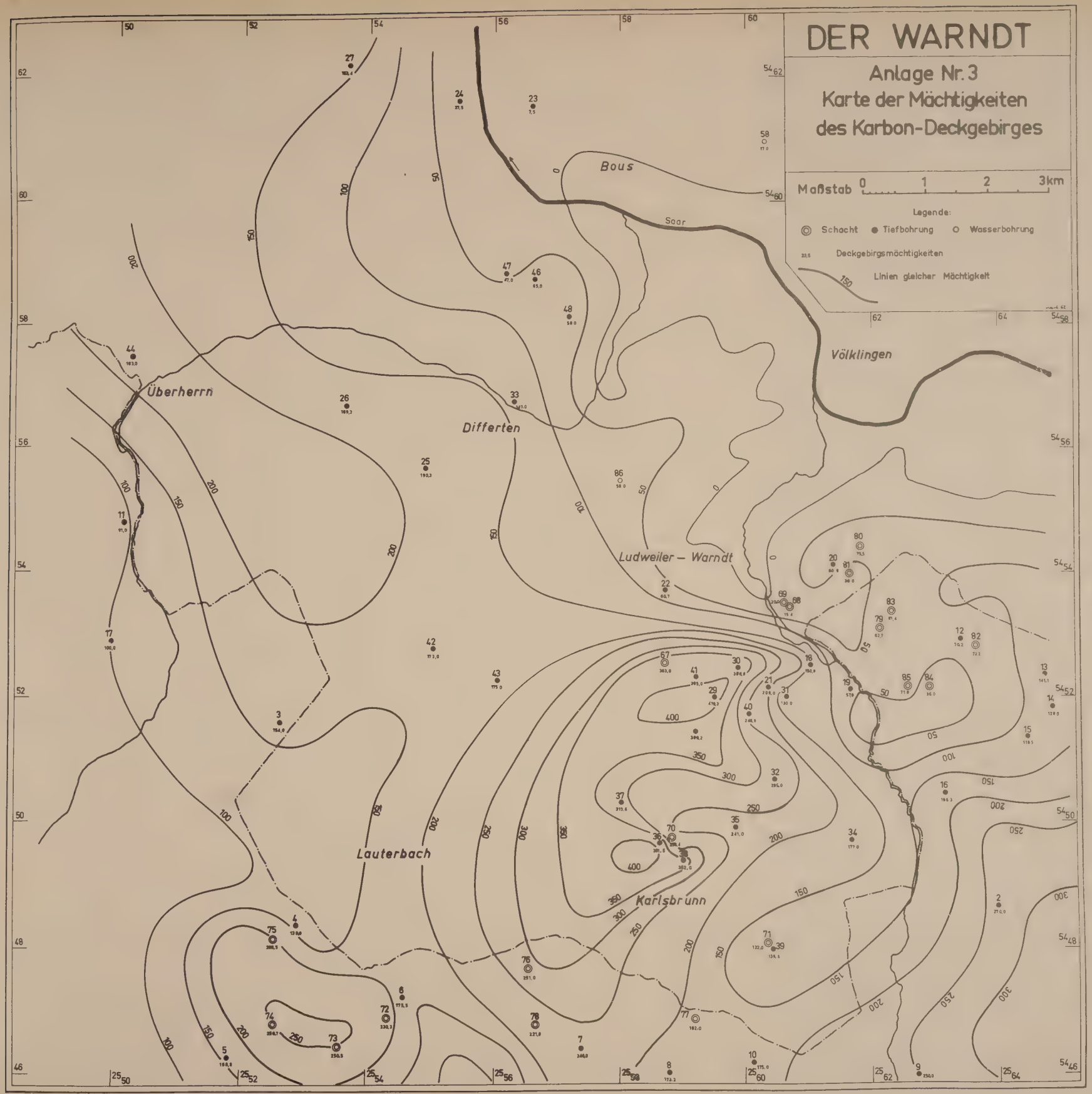
WETTERDIENST des Saarlandes, Monatsbericht über die Witterung im Saarland

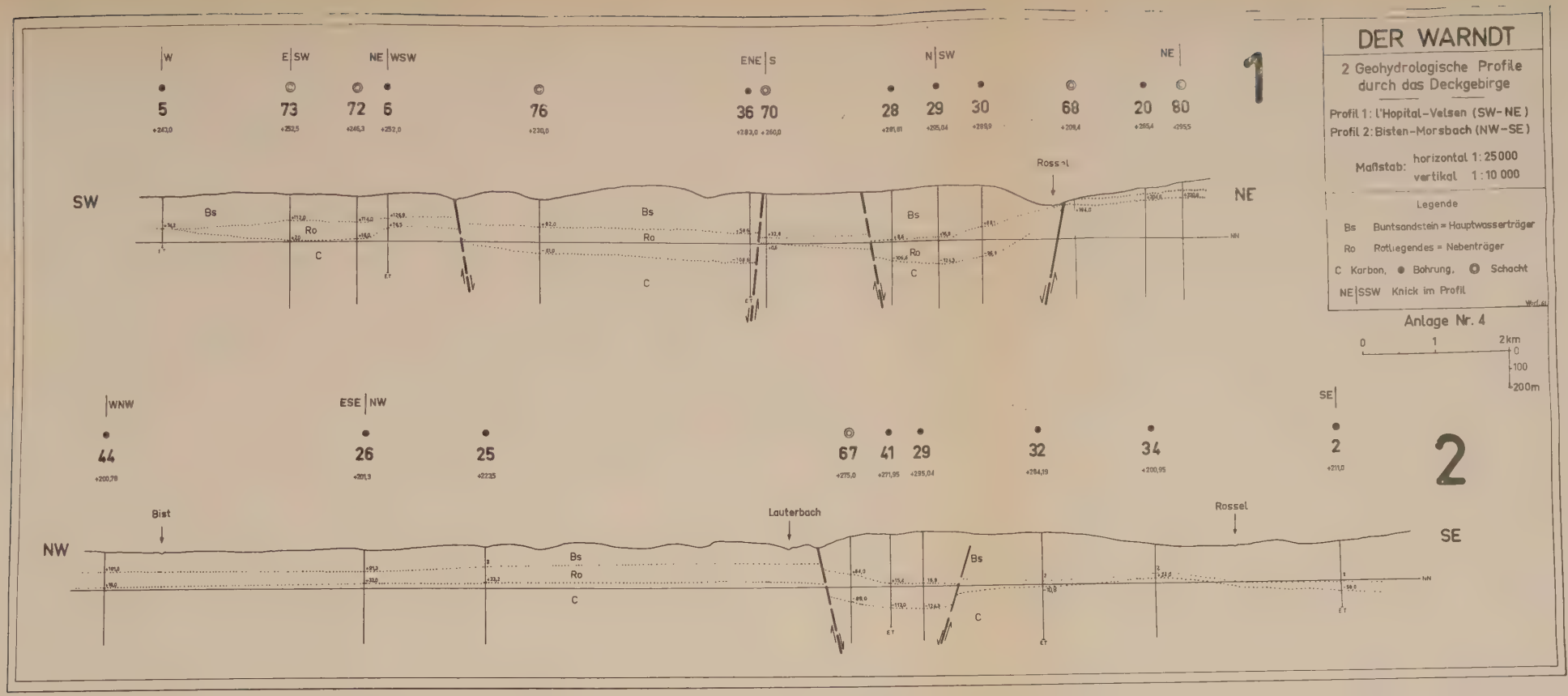
- " - des Saarlandes, Witterungsbericht und phaenologische Übersicht.

WUNDT, W. — Gewässerkunde. Berlin/Göttingen/Heidelberg 1953


DER WARNDT
Anlage Nr. 1
TIEFENLINIENPLAN
der Basis des
Karbon-Deckgebirges
Maßstab 0 1 2 3km
Legende:
Schacht
Tiefbohrung
Wasserbohrung
Teufe der Deckgebirgsbasis bezogen auf NN
Tiefenlinien bez. auf NN
Saar
Bous
Völklingen
Überherrn
Differten
Ludweiler-Warndt
Lauterbach
Karlsbrunn
Bist
Rossel


DER WARNDT
Anlage Nr. 2
TIEFENLINIENPLAN
der Basis des
Buntsandsteins
Maßstab 0 1 2 3km
Legende:
Schacht
Tiefbohrung
Wasserbohrung
Teufe der Buntsandsteinbasis bezogen auf NN
Tiefenlinien bez. auf NN
Bous
Saar
Völklingen
Überherrn
Differten
Ludweiler-Warndt
Lauterbach
Karlsbrunn
Rosseln
Bist
Felsberg-Roseel-Sprung


DER WARNDT
Anlage Nr. 3
Karte der Mächtigkeiten
des Karbon-Deckgebirges
Maßstab 0 1 2 3km
Legende:
Schacht
Tiefbohrung
Wasserbohrung
Deckgebirgsmächtigkeiten
Linien gleicher Mächtigkeit
Bous
Saar
Völklingen
Überherrn
Differten
Ludweiler – Warndt
Lauterbach
Karlsbrunn



DER WARNDT

2 Geohydrologische Profile durch das Deckgebirge

Profil 1: l'Hopital–Velsen (SW–NE)
Profil 2: Bisten–Morsbach (NW–SE)

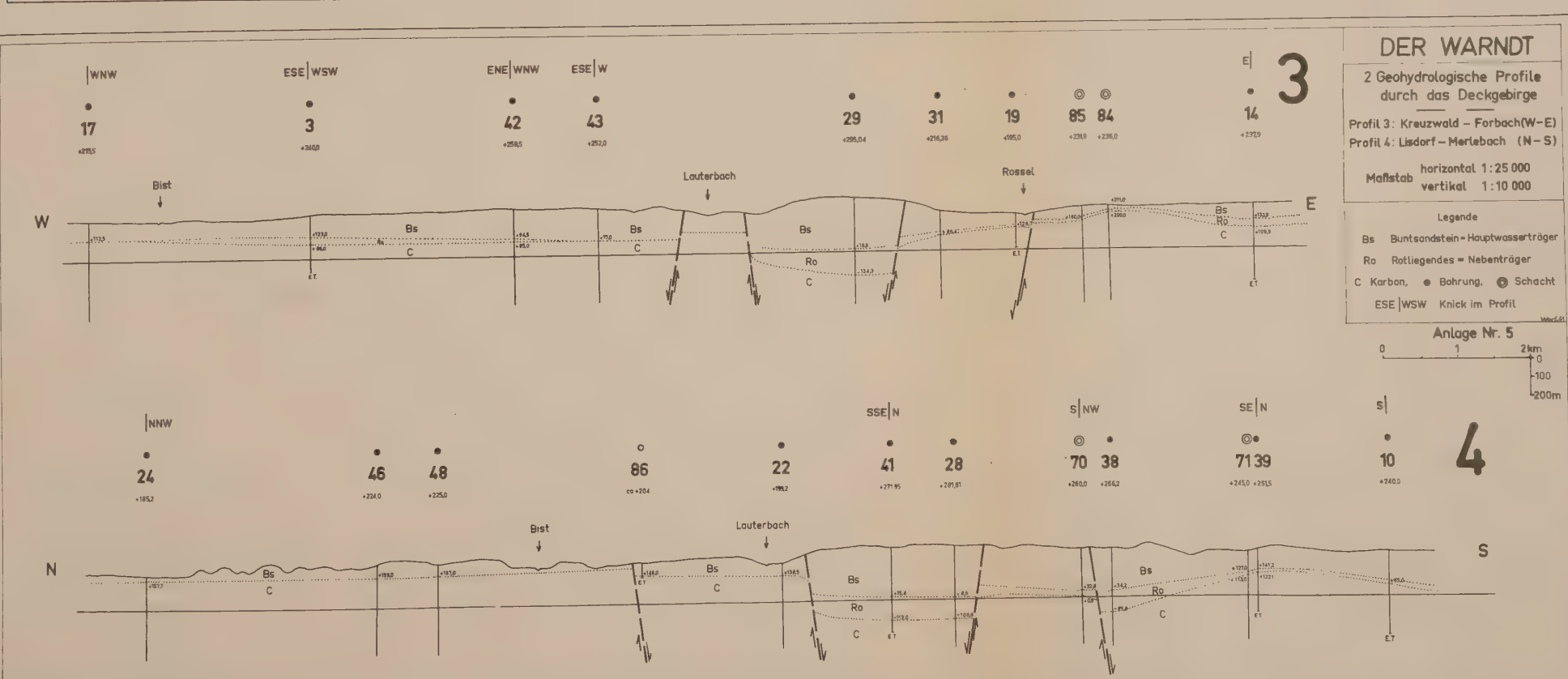
Maßstab: horizontal 1:25000
vertikal 1:10 000

Legende

Bs Buntsandstein = Hauptwasserträger
Ro Rotliegendes = Nebenträger
C Karbon, ● Bohrung, ◎ Schacht
NE | SSW Knick im Profil

Anlage Nr. 4

0 1 2km
0
100
200m



DER WARNDT

2 Geohydrologische Profile durch das Deckgebirge

Profil 3: Kreuzwald – Forbach (W–E)
Profil 4: Lisdorf – Merlebach (N–S)

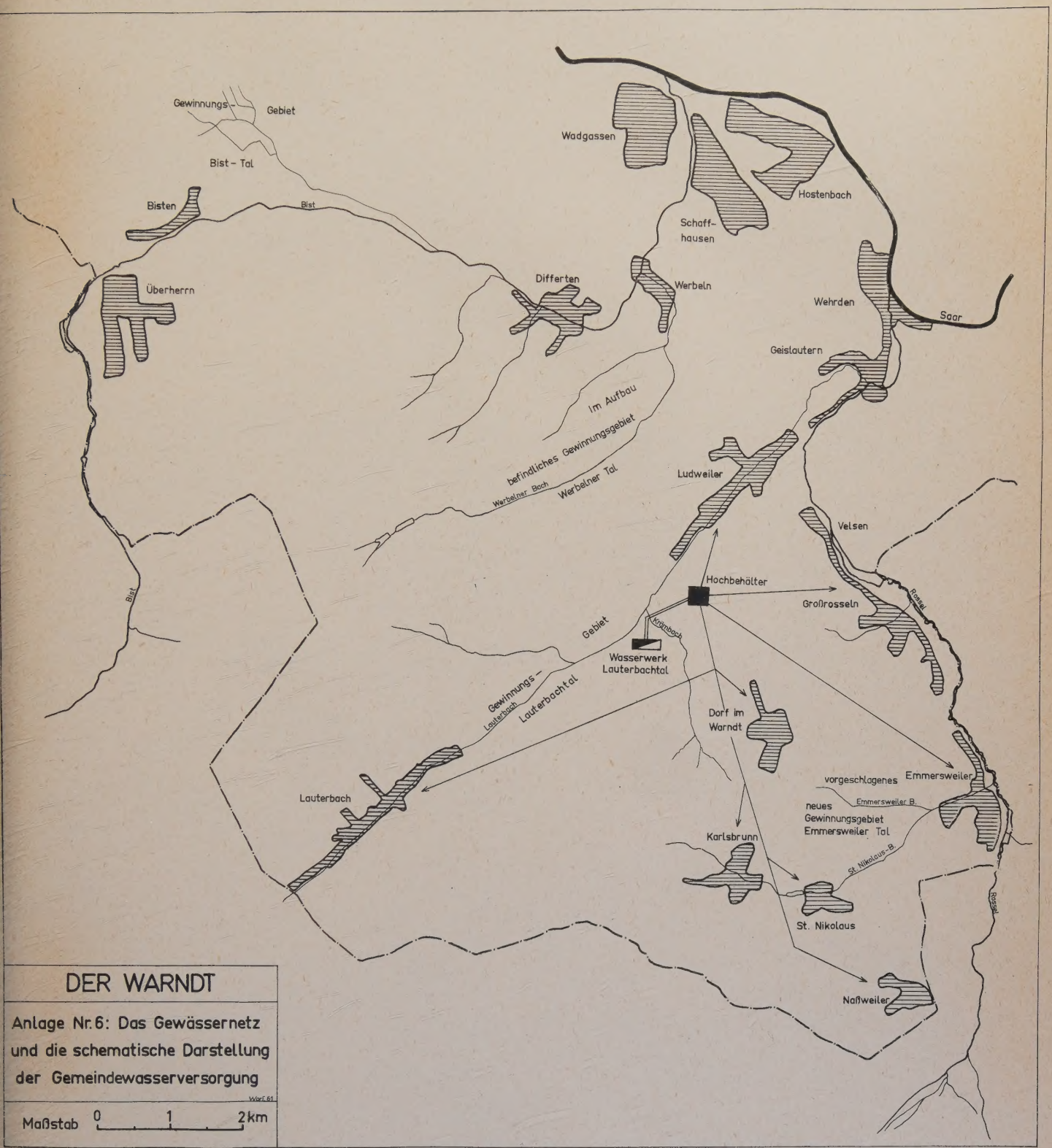
Maßstab: horizontal 1:25 000
vertikal 1:10 000

Legende

Bs Buntsandstein = Hauptwasserträger
Ro Rotliegendes = Nebenträger
C Karbon, ● Bohrung, ◎ Schacht
ESE | WSW Knick im Profil

Anlage Nr. 5

0 1 2km
0
100
200m



DER WARNDT

Anlage Nr. 6: Das Gewässernetz und die schematische Darstellung der Gemeindewasserversorgung

Worf. 61

Maßstab 0 1 2 km